



Fakultas
PERIKANAN DAN ILMU KELAUTAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO

BUKU AJAR

NUTRISI IKAN



Disusun oleh:
Dr. Ir. Subandiyono, M.App.Sc.
Dr. Ir. Sri Hastuti, M.Si.



Diterbitkan oleh:
Lembaga Pengembangan Dan Penjaminan Mutu Pendidikan
UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG
ISBN : 978-602-1065-34-1



BUKU AJAR

NUTRISI IKAN

Mata Kuliah : Nutrisi Ikan

Program Studi : Budidaya Perairan

Fakultas : Perikanan dan Ilmu Kelautan

Disusun oleh:
Dr. Ir. Subandiyono, M.App.Sc.
Dr. Ir. Sri Hastuti, M.Si.

LEMBAGA PENGEMBANGAN DAN PENJAMINAN MUTU PENDIDIKAN
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2016

BUKU AJAR

NUTRISI IKAN

Disusun oleh:

Dr. Ir. Subandiyono, M.App.Sc.

Dr. Ir. Sri Hastuti, M.Si

Mata Kuliah	:	Nutrisi Ikan
SKS	:	3 SKS
Semester	:	4
Program Studi	:	Budidaya Perairan
Fakultas	:	Perikanan dan Ilmu Kelautan



Diterbitkan oleh:

Lembaga Pengembangan dan Penjaminan Mutu Pendidikan

UNIVERSITAS DIPONEGORO SEMARANG

Jl. Imam Barjo, SH No. 1 Semarang

246 hal + xiv

ISBN: 978-602-1065-34-1

Revisi II, Tahun 2016

Dicetak oleh:

CATUR KARYA MANDIRI

Jl. Mangga VI No. 71, Semarang

Telp. : (024) 8419620

Email : info@mycrebo.com

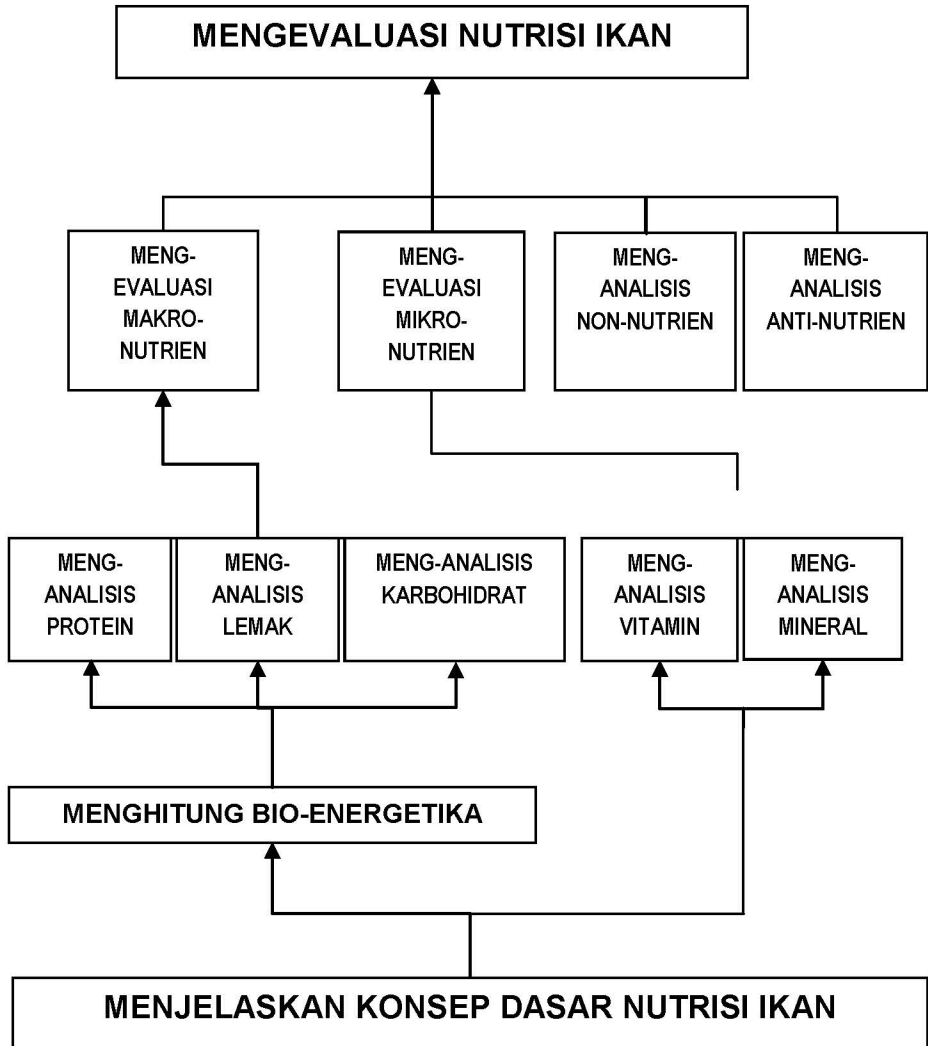
Isi diluar tanggung jawab percetakan

Diizinkan menyitir atau menggandakan isi buku ini dengan memberikan apresiasi sebagaimana kaidah yang berlaku

Buku ini kami dedikasikan kepada ke dua ananda tercinta,
Sandi Sutopo Aribowo, SSi. dan Anggit Gusti Nugraheni

Juga, kepada mahasiswa Budidaya Perairan,
Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan,
Universitas Diponegoro

ANALISIS PEMBELAJARAN



KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, puji syukur senantiasa Penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT., karena atas berkat rahmat dan hidayah-Nya maka penyusunan buku ajar Nutrisi Ikan ini dapat terselesaikan dengan baik. Buku ajar ini berisi informasi tentang konsep dasar kebutuhan nutrisi untuk berbagai jenis ikan secara umum hingga penerapannya pada penyusunan pakan ikan budidaya.

Buku ajar ini disusun atas prakarsa Direktorat Pengembangan Pembelajaran dan Kerjasama Akademik (DP2KA)-Universitas Diponegoro. Buku ajar ini diharapkan dapat memperkaya bahan bacaan tentang Nutrisi Ikan, khususnya bagi mahasiswa dan dosen Perikanan UNDIP maupun perguruan tinggi lainnya. Materi yang disajikan berdasarkan pada topik-topik yang pernah dipelajari, diajarkan, dan diteliti Penulis sejak tahun 1988.

Bahan bacaan yang membahas tentang kebutuhan nutrisi untuk ikan secara umum telah banyak diterbitkan, baik dalam bahasa asing maupun dalam bahasa Indonesia. Namun, buku ajar untuk mata kuliah Nutrisi Ikan yang disajikan dengan mengikuti standar penulisan menurut program Pelatihan Keterampilan Dasar Teknik Instruksional dan Applied Approach (PEKERTI-AA) masih sangat terbatas, khususnya yang tertuang dalam bahasa Indonesia.

Dengan hadirnya buku ajar ini diharapkan para pembaca, terutama mahasiswa dan dosen, yang berminat pada bidang nutrisi ikan dengan lebih mudah dapat memahami mekanisme perjalanan dan pemanfaatan baik makro maupun mikro-nutrien serta energi nutrisi pada ikan maupun organisme akuatik lainnya. Buku ini juga mengungkapkan berbagai faktor yang berpengaruh terhadap nilai kualitas pakan. Pemahaman yang dimaksud berkaitan erat dengan konsep-konsep manajemen pakan serta pemberiannya dalam budidaya ikan.

Revisi terus dilakukan Penulis guna penyempurnaan isi maupun tampilan buku ajar ini. Revisi I dilakukan terhadap desain cover, ukuran buku, dan penambahan materi bahasan mengenai mikro-nutrien (yaitu vitamin dan mineral), non-nutrien, serta anti-nutrien. Revisi II dilakukan terhadap bagan alir (flow chart) Analisis Pembelajaran, perubahan jenis dan ukuran font, serta penambahan indeks dan biografi Penulis pada bagian belakang buku ini. Indeks merupakan kata kunci penting bagi pembaca sehingga lebih mudah dapat menemukan informasi yang mendalam pada buku ajar ini.

Pada kesempatan ini Penulis menyampaikan terima kasih kepada Direktorat Pengembangan Pembelajaran dan Kerjasama Akademik (DP2KA)-UNDIP yang telah membantu dalam perbaikan hingga penerbitan buku ajar ini. Terima kasih disampaikan juga kepada tim pengampu mata kuliah Nutrisi Ikan program studi Budidaya Perairan, Jurusan Perikanan, FPIK-UNDIP yang telah memberikan kepercayaan serta kesempatan kepada Penulis untuk menyusun buku ajar ini. Penulis juga sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara langsung maupun tidak langsung demi penyelesaian penulisan buku ajar ini.

Akhirnya, semoga buku ajar ini dapat bermanfaat bagi mahasiswa perikanan dan kalangan pembaca yang lebih luas terutama bagi mereka yang membutuhkan.

Aamiiin

Penulis

Email: s_subandiyono@yahoo.com
hastuti_hastuti@yahoo.com

DAFTAR ISI

	Halaman
ANALISIS PEMBELAJARAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
A. TINJAUAN MATA KULIAH	1
I. Deskripsi Singkat	1
II. Relevansi	4
III. Kompetensi	7
1. Standar Kompetensi	7
2. Kompetensi Dasar	8
3. Indikator	8
B. KONSEP DASAR NUTRISI IKAN.....	15
I. Peran Nutrisi pada Budidaya Ikan.....	15
1. Pendahuluan.....	15
2. Penyajian	16
3. Penutup	22
Daftar Pustaka	25
Senarai.....	26
II. Kebutuhan Nutrien	26
1. Pendahuluan.....	26
2. Penyajian	27
3. Penutup	32
Daftar Pustaka	35
Senarai.....	35
III. Tingkah Laku Makan dan Sistem Pencernaan	36
1. Pendahuluan.....	36
2. Penyajian	37
3. Penutup	50
Daftar Pustaka	53
Senarai.....	53

C. BIO-ENERGETIKA	54
I. Energi.....	54
1. Pendahuluan.....	54
2. Penyajian	55
3. Penutup	58
Daftar Pustaka	61
Senarai.....	62
II. Aliran dan Pemanfaatan Energi	62
1. Pendahuluan.....	62
2. Penyajian	64
3. Penutup	74
Daftar Pustaka	79
Senarai.....	79
III. Kebutuhan Energi	80
1. Pendahuluan.....	80
2. Penyajian	81
3. Penutup	87
Daftar Pustaka	92
Senarai	93
D. PROTEIN	94
I. Pengertian Protein dan Asam Amino.....	94
1. Pendahuluan.....	94
2. Penyajian	95
3. Penutup	105
Daftar Pustaka	110
Senarai.....	110
II. Kebutuhan Protein dan Asam Amino	111
1. Pendahuluan.....	111
2. Penyajian	112
3. Penutup	120
Daftar Pustaka	126
Senarai	127
E. LEMAK	128
I. Pengertian Lemak dan Asam Lemak.....	128
1. Pendahuluan.....	128

2. Penyajian	130
3. Penutup	140
Daftar Pustaka	147
Senarai.....	147
II. Kebutuhan Lemak dan Asam Lemak.....	148
1. Pendahuluan.....	148
2. Penyajian	150
3. Penutup	155
Daftar Pustaka	159
Senarai	160
F. KARBOHIDRAT	161
I. Pengertian Karbohidrat.....	161
1. Pendahuluan.....	161
2. Penyajian	162
3. Penutup	176
Daftar Pustaka	180
Senarai.....	181
II. Peran dan Kebutuhan Karbohidrat	182
1. Pendahuluan.....	182
2. Penyajian	183
3. Penutup	197
Daftar Pustaka	204
Senarai	205
G. MIKRO-NUTRIEN	206
I. Vitamin	206
1. Pendahuluan.....	206
2. Penyajian	207
3. Penutup	216
Daftar Pustaka	217
II. Mineral	218
1. Pendahuluan.....	218
2. Penyajian	219
3. Penutup	226
Daftar Pustaka.....	227

H. NON-NUTRIEN DAN ANTI-NUTRIEN	228
I. Non-Nutrien	228
1. Pendahuluan.....	228
2. Penyajian	229
3. Penutup	233
Daftar Pustaka	234
II. Anti-nutrien	234
1. Pendahuluan.....	234
2. Penyajian	236
3. Penutup	239
Daftar Pustaka	240
INDEKS	241
BIOGRAFI PENULIS	245

DAFTAR TABEL

No.	Halaman
B.1. Perbandingan Konversi Pakan (<i>Feed Conversion Rasio, FCR</i>) dari Berbagai Jenis Hewan Penghasil Daging	18
B.2. Struktur Sistem Pencernaan dan Fungsinya	45
B.3. Makanan dan Kebiasaan Makan Beberapa Jenis Ikan Terseleksi.....	46
D.1. Berbagai Jenis Asam Amino yang Umum Terdapat dalam Protein	99
D.2. Berbagai Tingkat Kebutuhan Protein dalam Pakan Buatan untuk Ikan pada Berbagai Tahap Pertumbuhan....	115
D.3. Kebutuhan Asam Amino untuk Ikan menurut NRC.....	118
E.1. Berbagai Jenis Asam Lemak secara Umum.....	133
E.2. Klasifikasi Asam Lemak Tidak Jenuh (PUFA)	134
E.3. Asam Lemak Utama dalam Lemak Ikan	135
E.4. Pengaruh Suhu Media Budidaya terhadap Komposisi Asam Lemak <i>Palaemon serratus</i>	137
E.5. Pengaruh Pakan terhadap Komposisi Asam Lemak <i>Penaeus setiferus</i>	138
E.6. Petunjuk untuk Kandungan Lemak dalam Pakan Ikan	151
E.7. Kebutuhan Asam Lemak Esensial untuk Ikan	153

E.8.	Komposisi Asam Lemak Pakan Uji	154
F.1.	Komposisi berbagai Komponen Molekular Sel	165
F.2.	Klasifikasi Karbohidrat	167
H.1.	Berbagai Komponen Anti-Nutrien yang Dapat Dijumpai dalam Bahan Penyusun Pakan, Sumber Asal, Pengaruh, serta Pencegahannya	237
H.2.	Berbagai Jenis Kontaminan Pakan dari Proses-Proses Alamiah dan Kontaminasi Lingkungan, Pengaruh, dan Pencegahannya	238

DAFTAR GAMBAR

No.	Halaman
A.1 Berbagai Faktor yang Mempengaruhi dan Menentukan agar Pakan Ikan dapat Dinyatakan sebagai Pakan yang Berkualitas.	6
B.1. Nutrisi Ikan dan Budidaya Perikanan	20
B.2. Proses-Proses Makan pada Ikan	39
B.3. Sistem Pencernaan Ikan	44
B.4. Bentuk dan Struktur Alat Makan Berbagai Jenis Ikan dengan Kebiasaan Makan yang Berbeda	48
C.1. Aliran Energi (Energy Flow) Ideal dari Suatu Energi melalui Sistem Hewan	64
C.2. Pemasukan Energi dan Distribusi Pemanfaatannya Diantara Proses-Proses yang Membutuhkan Energi	66
D.1. Struktur Umum Asam Amino	98
F.1. The Weende Proximate Analyses	175
F.2. Proses Umum Perjalanan Karbohidrat dan Berbagai Nutrien Lainnya beserta Penggunaannya dalam Tubuh Ikan	185
F.3. Transformasi Energi Karbohidrat melalui Proses Glikolisis dan yang dihasilkan pula piruvat. Asetil CoA merupakan molekul antara bagi karbohidrat, protein, dan lemak untuk dapat memasuki siklus Krebs (TCA)	190

F.4.	Asetil CoA Setelah Memasuki Siklus Krebs dan Berikatan dengan Proses Fosforilasi Oksidatif Menghasilkan CO ₂ dan ATP	191
F.5.	Serangkaian Reaksi pada Proses Glikolisis yang Bersifat Bolak-Balik (<i>Reversible Embden-Meyerhof Pathway</i>)	192
G.1.	Skema Penentuan Uji Kebutuhan Vitamin secara Kualitatif	212
G.2.	Skema Penentuan Uji Kebutuhan Vitamin secara Kuantitatif	213
G.3.	Skema Prosedur Pengambilan Keputusan Berdasarkan Kriteria dan Gejala Bio-Fisiologis yang Ditimbulkan Pakan Uji terhadap Ikan Uji	214
G.4.	Skema Respons Hewan terhadap Dosis Mineral dalam Pakan	222

F. KARBOHIDRAT

I. PENGERTIAN KARBOHIDRAT

1. Pendahuluan

1.1. Deskripsi Singkat

Karbohidrat didefinisikan sebagai suatu senyawa yang mengandung karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan ke dua elemen terakhir (yaitu H dan O) terdapat pada suatu perbandingan sebagaimana dalam air. Rumus kimia umum dari karbohidrat adalah $C_n(H_2O)_m$ dengan 'n' kadangkala memiliki nilai yang sama dengan 'm'. Karbohidrat membentuk bagian terbesar kedua dari suplai pakan ikan selain protein. Kandungan karbohidrat dalam bahan penyusun pakan ataupun pakan ikan dapat diketahui dengan menggunakan metode secara tidak langsung, yaitu setelah melalui analisis semua komponen organik dan anorganik lainnya terlebih dahulu.

1.2. Relevansi

Pengertian oleh mahasiswa akan karbohidrat sebagai sumber energi utama dalam pakan ikan, juga pengertian akan komponen penyusun serta jenis ikatan yang dimiliki oleh suatu jenis karbohidrat adalah penting sebagai landasan pengetahuan akan tingkat pemanfaatan karbohidrat oleh ikan. Pada bagian akhir dari Sub-Pokok Bahasan I ini, prinsip dasar analisis karbohidrat dari suatu bahan organik disajikan secara menyeluruh dalam suatu metode analisis proksimat.

1.3. Kompetensi

1.3.1. Standar Kompetensi

Pada akhir penyampaian materi kuliah 'Pengertian Karbohidrat' ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan dan/atau mendiskripsikan kembali pengertian, macam, peran, serta sumber

karbohidrat yang umum digunakan sebagai bahan penyusun pakan ikan. Disamping itu, mahasiswa diharapkan mampu menjabarkan kembali metode penghitungan kadar karbohidrat suatu bahan organik tertentu berdasarkan pada konsep dasar analisis proksimat.

1.3.2. Kompetensi Dasar

Pada akhir pemaparan materi ini, mahasiswa semester IV PS. Budidaya Perairan, Jurusan Perikanan, hendaknya mampu menyebutkan, menjelaskan, dan/atau mendeskripsikan kembali:

- a. Pengertian umum dan definisi karbohidrat;
- b. Tiga macam sumber energi penting untuk pakan ikan;
- c. Peran energi pakan dalam kaitannya dengan efisiensi pemanfaatan pakan oleh ikan;
- d. Berbagai macam komponen makro-nutrien; serta
- e. Konsep dasar dari analisis proksimat;

2. Penyajian

2.1. URAIAN

A. Definisi.

Karbohidrat berasal dari kata 'karbo' yang berasosiasi dengan kata karbon (yaitu suatu elemen dengan simbol 'C') dan 'hidrat' yang berasosiasi dengan kata hidro yang berarti air. Dengan demikian, secara harfiah karbohidrat berarti karbon dengan molekul air. Rumus kimia umum dari karbohidrat digambarkan sebagai berikut: $C_n(H_2O)_m$ dengan 'n' kadangkala memiliki nilai yang sama dengan 'm'. Berdasarkan pada rumus kimia tersebut maka karbohidrat didefinisikan sebagai suatu senyawa yang mengandung karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan ke dua elemen terakhir (yaitu H dan O) terdapat pada suatu perbandingan sebagaimana dalam air. Definisi tersebut di atas berlaku untuk sebagian besar persenyawaan dalam kelompok karbohidrat, namun beberapa karbohidrat mengandung proporsi oksigen yang lebih rendah daripada yang

terdapat pada air atau sebagai karbohidrat turunan yang mengandung nitrogen (N) sulfur (S). Karbohidrat merupakan kelompok nutrisi yang meliputi gula-gulaan (*sugars*), tepung (*starch*), selulosa, gums, dan zat-zat yang terkait.

B. Sintesis Karbohidrat.

Karbohidrat disintesis di dalam semua tanaman hijau dengan suatu proses yang disebut fotosintesis. Fotosintesis dapat digambarkan sebagai berikut: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{cahaya} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 + \text{energi}$. Energi yang berhasil dilepaskan pada reaksi kimia tersebut adalah sebesar 673 kkal. Karbohidrat mempunyai peran utama yang sangat penting pada ikan dan makhluk hidup lainnya dikarenakan 2 alasan. Pertama, karbohidrat merupakan salah satu dari 6 kelompok nutrisi yang penting dari berbagai komponen molekuler pembentuk sel. Yang dimaksudkan dengan ke 6 kelompok nutrisi tersebut adalah protein, asam nukleat, lemak, vitamin, mineral, dan karbohidrat itu sendiri. Kedua, karbohidrat membentuk bagian terbesar kedua dari suplai pakan ikan setelah protein. Namun, untuk hewan pemakan tanaman seperti mamalia, karbohidrat merupakan bagian terbesar dari suplai pakan dan mencakup 75% bobot kering tanaman. Di alam, karbohidrat dirancang untuk membantu perkembangan eksistensi tanaman. Bentuk yang lebih larut berperan dalam transformasi energi dan sintesis jaringan dalam sistem tanaman; bentuk yang kurang larut seperti *starch* berperan sebagai energi cadangan; sedangkan fraksi-fraksi yang relatif tidak larut (misalnya selulosa dan hemiselulosa) membentuk keseluruhan struktur tanaman.

C. Karbohidrat dan Nutrien Lainnya.

Karbohidrat dan berbagai bahan organik lainnya merupakan bagian dari penyusun sel hidup. Informasi mengenai kandungan sel hidup, baik yang bersifat elemental maupun molekular, adalah penting untuk mengacu pada input berbagai material yang diperlukan untuk

pembentukan dan perawatan sel serta keseluruhan organisme. Berbagai komponen elemental dari sel meliputi: a) Elemen-elemen dari bahan organik (*organic matter*). Yang termasuk dalam kelompok ini adalah karbon (C), hidrogen (H), oksigen (O), nitrogen (N), fosfor (P), dan sulfur (S). Selain karbohidrat, yang dimaksudkan dengan bahan organik lainnya adalah protein dan lemak; b) Ion-ion anorganik (*inorganic ions*). Contoh berbagai ion yang termasuk dalam kelompok ion anorganik penyusun sel adalah sodium (Na^+), potasium (K^+), magnesium (Mg^+), kalsium (Ca^+), dan klorida (Cl^+); serta c) Mineral. Contoh kelompok mineral adalah Mn, Fe, Co, Cu, Zn, B, Al, V, I, Si, Sn, Ni, Cr, F, dan Se. Elemen-elemen tersebut tidak terjadi dalam bentuk atom-atom bebas tetapi terkombinasi untuk membentuk molekul-molekul dan agregat molekuler. Sedangkan berbagai komponen molekular dari sel meliputi protein, asam nukleat, karbohidrat, lipid, vitamin, dan mineral. Ukuran komponen molekul bervariasi mulai dari makromolekul, mikro-molekul, hingga ion. Makromolekul berukuran bobot (*molecular weight, MW*) antara 10³ hingga 10⁹, mikromolekul berukuran bobot antara 50 hingga 100, dan ion berukuran bobot antara <50. Komposisi berbagai komponen molekular sel disajikan pada Tabel F.1 berikut di bawah ini. Asam nukleat merupakan komponen yang sangat penting dari inti sel dan dapat disintesa oleh sebagian besar sel-sel hidup dari molekul-molekul sederhana.

Tabel F.1. Komposisi berbagai Komponen Molekular Sel

No.	Komponen	Bobot Total (%)	Bobot Kering (%)	Ukuran Molekul	Keterangan
1.	Air	70			
2.	Protein	15	50	Makro	Molekul
3.	Asam nukleat:				
	• DNA	1	1	Makro	Molekul
	• RNA	6	20	Makro	berformasi
4.	Karbohidrat	3	10	Makro	
5.	Lipid	2	7	Makro	
6.	Berbagai molekul penyusun sel, Vitamin, bahan <i>intermediate</i> lainnya	2	7	Mikro	
7.	Mineral	1	3		Ion
Total		100%	100%		

Kebutuhan ikan atau jenis hewan lainnya akan nutrisi dalam pakan sangat dipengaruhi oleh komposisi nutrisi tubuhnya. Nutrisi yang termasuk kedalam kelompok makro akan dibutuhkan dalam jumlah yang lebih besar dalam pakan yang dikonsumsi, begitu pula sebaliknya untuk nutrisi yang tergolong kedalam kelompok mikro ataupun ion. Kebutuhan akan berbagai jenis nutrisi, molekul, ataupun ion yang bersifat esensial bagi ikan atau hewan tersebut akan lebih besar pula tuntutan keberadaannya dalam pakan. Begitu pula untuk berbagai jenis ion yang senantiasa dikeluarkan secara periodik melalui proses ekskresi akan dibutuhkan juga pemasukannya secara rutin melalui pakan. Tingkat dan jenis kebutuhan ikan atau hewan akan nutrisi dapat pula diprediksi melalui tingkat dan jenis nutrisi yang terdapat dalam tubuh ikan atau hewan tersebut. Konsep ini sangat penting dan bermanfaat terutama bagi jenis ikan tertentu yang belum diketahui sama sekali kebutuhan nutrisinya. Perubahan persentase

dari setiap komponen pembentuk sel tubuh terjadi pula pada ikan dengan umur atau tahap fisiologis yang berbeda. Hal tersebut juga dapat diprediksi sebagai fenomena perbedaan akan kebutuhan komponen-komponen nutrisi tertentu yang perlu disediakan dalam pakan.

Penting sebagai konsep dasar para nutrisionis!!

Jumlah relatif dari ke 6 kelompok nutrien sebagaimana terdapat dalam sel mempunyai kaitan langsung terhadap jumlah relatif dari nutrien-nutrien yang harus diperolehnya sebagai makanan agar mendukung pertumbuhan dan perkembangan secara normal.

Jabarkan dengan jelas makna dari konsep tersebut!!!

D. Klasifikasi.

Istilah karbohidrat diterapkan untuk semua persenyawaan karbon, hidrogen, dan oksigen yang mana hidrogen dan oksigen pada perbandingan yang sama seperti pada air. Secara kimiawi, karbohidrat adalah polihidroksi aldehida dan keton atau senyawa yang menghasilkan ke dua komponen tersebut pada proses hidrolisis. Suatu klasifikasi singkat yang meliputi berbagai anggota khususnya yang penting pada nutrisi disajikan pada Tabel F.2.

Monosakarida.

Monosakarida adalah unit dasar darimana semua karbohidrat diturunkan. Monosakarida dicirikan oleh kandungan jumlah atom karbonnya, C-3, C-4, C-5, dan seterusnya, serta oleh konfigurasi strukturalnya (aldosa atau ketosa).

Tabel F.2. Klasifikasi Karbohidrat*

No.	Kelompok	Jenis	Contoh
I.	Monosakarida	A. Triosa ($C_3H_6O_3$)	1. Gliseraldehid
		(1 unit glukosa)	2. Dihidroksiaseton
		B. Tetrosa ($C_4H_8O_4$)	1. Eritrosa
		C. Pentosa ($C_5H_{10}O_5$)	1. Ribosa
			2. Arabinosa
			3. Xilosa
			4. Xilulosa
		D. Heksosa ($C_6H_{12}O_6$)	1. Glukosa
			2. Galaktosa
			3. Mannosa
			4. Fruktosa
II.	Oligosakarida	A. Disakarida ($C_{12}H_{22}O_{11}$)	1. Sukrosa
		(2-10 unit glukosa)	2. Laktosa
			3. Maltosa
			4. Selobiosa
			5. Trehalosa
		B. Trisakarida ($C_{18}H_{32}O_{16}$)	1. Rafinosa
		C. Tetrasakarida ($C_{24}H_{42}O_{21}$)	1. Stasilosa
		D. Pentasakarida ($C_{30}H_{52}O_{26}$)	1. Verbaskosa
III.	Polisakarida	A. Homo-polisakarida	1. Pentosan
		(Glikan, (Homo-glikan,	($C_5H_8O_4$) ₁₁
		>10 unit glukosa)	a. Araban
			b. Xilan
		2. Heksosan	($C_6H_{10}O_5$) ₁₁
			a. Glukan
			-Starch, ikatan- α
			-Dekstrin, ikatan- α
			-Glikogen, ikatan- α
			-Selulosa, ikatan- β
			b. Fruktan
			-Inulin
			-Levan
			c. Galaktan
			d. Manan
		B. Hetero-polisakarida	1. Pektin (ikatan- α)
		(Heteroglikan,	2. Hemiselulosa
		2-6 unit glukosa	(ikatan- β)
		dengan jenis berbeda)	
		3. Gum dan <i>mucilage</i>	
		4. Mukopolisakarida	
IV.	Persenyawaan Khusus	A. Kitin	
		B. Lignin (bukan suatu karbohidrat)	

Keterangan:

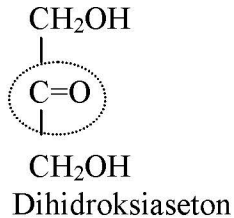
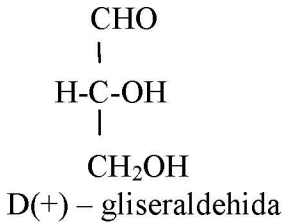
*) Monosakarida dan polisakarida (I dan II) termasuk kedalam kelompok gula-gulaan (*sugars*), sedangkan polisakarida dan persenyawaan khusus (III dan IV) termasuk kedalam kelompok bukan gula-gulaan (*non-sugars*). *Non-sugars* tidak memiliki rasa manis.

Dari semua jenis monosakarida, glukosa dan fruktosa terjadi dalam bentuk bebas di alam. Sebagian besar monosakarida diperoleh melalui hidrolisis dari unsur pokok yang lebih kompleks dari tanaman. Monosakarida sering kali mengacu pada kelompok gula-gulaan sederhana, larut dalam air, dan manis rasanya. Dua kelompok gula-gulaan sederhana yang penting secara komersial adalah pentosa atau gula-gulaan atom karbon lima dan heksosa atau gula-gulaan atom karbon enam. *Pentosa* mempunyai formula umum $C_5H_{10}O_5$. Dua jenis pentosa, yaitu xilosa dan arabinosa, penting secara komersial dan keduanya adalah aldopentosa. Xilosa terbentuk dengan hidrolisis pentosan. Xilosa dalam jumlah yang cukup dapat dibentuk pada *pulping* kayu melalui hidrolisis hemiselulosa. Arabinosa diproduksi dengan hidrolisis *gum arabic* atau bekatul. *Heksosa* mempunyai formula umum $C_6H_{12}O_6$. Terdapat empat jenis gula-gulaan heksosa dengan formula seperti itu, yaitu galaktosa, glukosa, dan mannososa yang kesemuanya merupakan aldosa, serta fruktosa yang merupakan ketosa. Glukosa merupakan gula-gulaan aldoheksosa yang paling umum. Glukosa merupakan molekul dasar untuk sintesis *starch* dan selulosa dan diproduksi secara komersial dengan hidrolisis tepung jagung (*cornstarch*). Glukosa merupakan pusat penting pada nutrisi, karena glukosa merupakan produk akhir utama dari pencernaan karbohidrat oleh non-ruminansia. Fruktosa merupakan satu-satunya ketoheksosa penting di alam dan merupakan karbohidrat yang paling manis. Bilamana gula tebu atau gula *beet* dihidrolisis, satu molekul dari fruktosa dan satu molekul dari glukosa terbentuk dari setiap molekul sukrosa. Galaktosa dan mannososa tidak terjadi pada bentuk bebas di

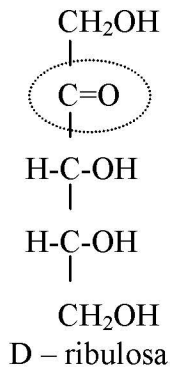
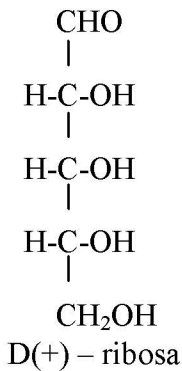
alam. Galaktosa diproduksi dengan hidrolisis dari laktosa atau gula susu sedangkan mannosa diproduksi dengan hidrolisis *ivory nut*. Glukosa dibentuk secara simultan.

Beberapa contoh formula monosakarida yang umum adalah sebagai berikut:

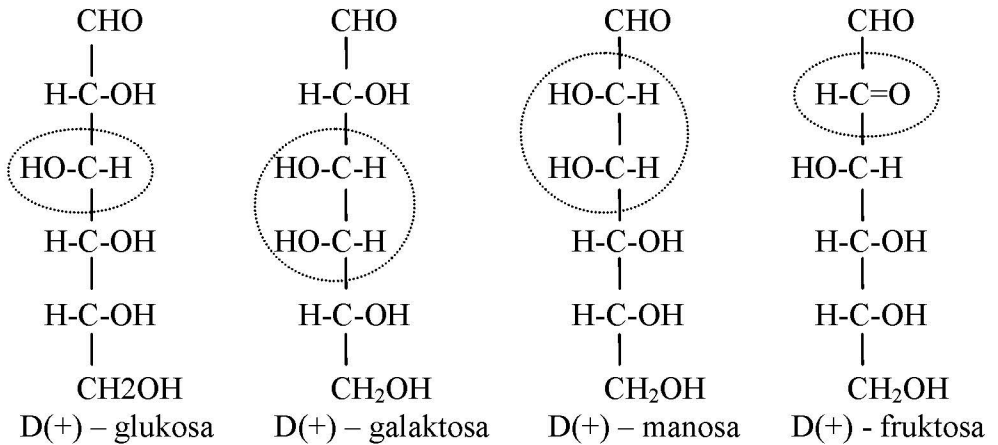
A. Triosa ($C_3H_6O_3$)



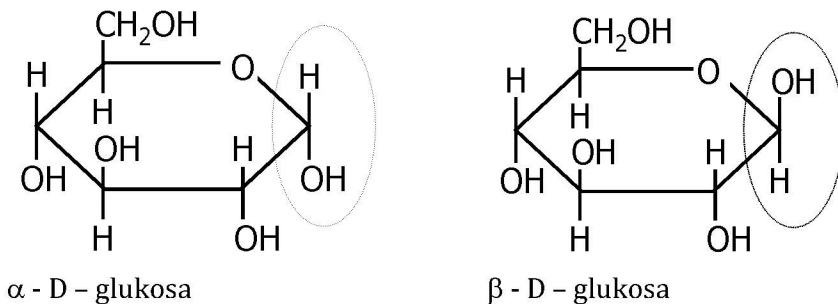
B. Pentosa ($C_5H_{10}O_5$)



C. Heksosa ($C_6H_{12}O_6$)



Monosakarida terdapat pula dalam bentuk molekul siklik atau ring atau molekul dengan ikatan karbon tertutup seperti contoh berikut di bawah ini.



Disakarida.

Disakarida merupakan kombinasi dari dua molekul monosakarida. Formula kimiawinya adalah $C_{12}H_{22}O_{11}$, yang menunjukkan bahwa satu molekul air telah dieliminasi sebagai akibat dari penggabungan dua monosakarida. Hidrolisis disakarida

menghasilkan pembelahan molekul tersebut dan pembentukan heksosa. *Sukrosa* terbentuk dari kombinasi satu molekul glukosa dan satu molekul fruktosa. Dalam jumlah yang besar, sukrosa diturunkan dari gula tebu dan gula *beet*, sumber-sumber gula secara komersial. Bilamana terhidrolisis dengan enzim sukrase, sukrosa terbagi menjadi dua monosakarida unsur pokoknya. *Maltosa* tidak terjadi di alam. Maltosa terbentuk dengan hidrolisis *starch*, dan dipengaruhi oleh enzim diastase yang menghidrolisis *starch*. Maltosa terhidrolisis dengan cepat guna menghasilkan dua molekul glukosa. *Laktosa*, atau gula susu, terjadi pada susu dari semua mamalia. Saat hidrolisis, molekul terpisah untuk menghasilkan sebuah molekul glukosa dan sebuah molekul galaktosa. Laktosa merupakan hal yang menarik dalam nutrisi karena merupakan hampir separuh dari padatan susu dan tidak terjadi di alam kecuali sebagai produk dari glandula susu.

Polisakarida.

Semua polisakarida merupakan produk kondensasi dari heksosa atau monosakarida lainnya. Polisakarida mempunyai berat molekul tinggi dan sebagian besar tidak larut dalam air. Saat hidrolisis dengan asam atau enzim, polisakarida terpecah menjadi berbagai produk antara (*intermediate*) dan akhirnya menjadi monosakarida unsur pokoknya. Secara kuantitatif, polisakarida merupakan nutrisi terpenting dari asal tanaman. *Starch* atau tepung mempunyai formula umum $C_6H_{10}O_5$. Material cadangan sebagian besar tanaman terdiri dari *starch*, yang ditemukan dalam umbi, akar, dan biji-bijian. *Starch* merupakan bahan pakan yang paling murah dan terutama menyediakan nutrisi manusia sebagai sumber energi. Saat hidrolisis dengan asam atau enzim, *starch* diubah menjadi dekstrin, maltosa, dan akhirnya glukosa. Setiap molekul *starch* menghasilkan sekitar 22 hingga 28 molekul glukosa. *Selulosa* merupakan senyawa yang paling melimpah pada tanaman dan merupakan komponen struktural utama dari dinding sel tanaman. Selulosa pada dasarnya tidak larut dan

sangat resisten atau tahan terhadap degradasi enzimatik. Selulosa dapat dihidrolisis menjadi glukosa dengan menggunakan asam kuat. *Hemiselulosa* tersusun atas campuran unit-unit heksosa dan pentosa, dan saat hidrolisis menghasilkan glukosa dan pentosa, biasanya xilosa. Hemiselulosa merupakan komponen pokok dari dinding sel tanaman. Hemiselulosa kurang resisten terhadap degradasi kimiawi dibandingkan dengan selulosa. Hemiselulosa juga dapat dihidrolisis dengan menggunakan perlakuan asam yang relatif ringan. *Pektin* terutama ditemukan pada rongga diantara dinding sel tanaman dan juga memasuki dinding sel itu sendiri. Pektin dapat diekstraksi dengan air panas dan dingin dan akan membentuk suatu gel. Tidak ada enzim mamalia mampu menghidrolisis pektin dan kecernaannya benar-benar bergantung pada aktivitas mikrobial. *Gum* tanaman terbentuk di suatu tempat yang terluka atau melalui torehan atau irisan sehingga cairan kental menjadi keras saat mengering. *Gum* digunakan secara komersial sebagai agen pengental atau stabiliser emulsi. *Gum* merupakan rantai karbon bercabang dan sangat kompleks yang mengandung asam D-glukoronat dan D-galakturonat, juga gula-gulaan sederhana lainnya seperti arabinosa dan samosa. *Gum arabic* merupakan gum komersial yang telah diketahui dengan baik.

Persenyawaan Khusus.

Persenyawaan khusus meliputi lignin dan kitin. *Lignin* ditemukan pada bagian berkayu dari tanaman seperti tongkol jagung, kulit kacang, dan bagian berserat dari akar, batang, dan daun. Lignin memiliki bobot molekular yang tinggi. Struktur spesifiknya tidak dapat digambarkan dengan begitu jelas dan bentuknya dapat begitu bervariasi dari satu tanaman ke tanaman lainnya. Pada prinsipnya, lignin merupakan struktur kompleks yang mengandung karbon hingga berbagai ikatan karbon dan ikatan eter yang resisten terhadap asam dan basa. *Kitin* merupakan komponen dasar dari eksoskeleton insekta

atau serangga dan krustase atau udang-udangan. Kitin tersusun atas N-asetil D-glukosamin.

E. Ikatan α dan β .

Beberapa molekul dengan rumus kimia sama memiliki rumus bangun yang berbeda pada konfigurasi atom atau jenis ikatannya, misalnya glukosa dengan ikatan α dan yang lainnya memiliki ikatan β . Perbedaan karakteristik antara ke dua ikatan tersebut meliputi: a) Perbedaan sifat secara kimiawi (lihat rumus kimia α -D-glukosa dan β -D-glukosa di atas); b) perbedaan sifat secara biologis. Perbedaan kandungan jenis ikatan dalam polisakarida mempengaruhi sifat-sifat biologis dari polisakarida itu sendiri, misalnya polisakarida *starch* dan glikogen yang tersusun atas rantai bercabang atau helikal dari unit-unit glukosa- α secara biologis lebih reaktif, sedangkan polisakarida selulosa yang tersusun atas unit-unit glukosa- β dari rantai-rantai zig-zag cenderung tidak mudah larut.

F. Sumber Karbohidrat.

Berbagai jenis bahan penyusun pakan yang biasa digunakan sebagai sumber karbohidrat dalam pakan ikan adalah:

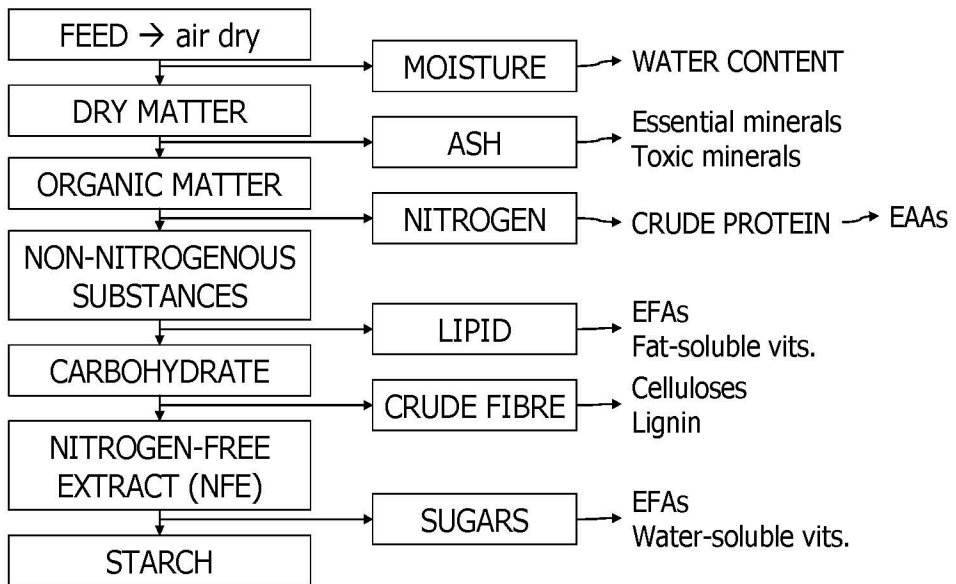
- | | |
|--------------------------|-----------------------|
| 1. <i>Barley</i> | 6. Tetes sitrus |
| 2. Tepung roti | 7. Tetes kayu |
| 3. Tepung ketela | 8. Biji kacang polong |
| 4. Tepung lembaga jagung | 9. Bekatul |
| 5. Tepung jagung | 10. Beras |
| 11. Dekstrin | 15. Tepung gandum |
| 12. Batang biji rami | 16. Tp. kulit gandum |
| 13. Tetes <i>beet</i> | 17. Tepung biji oats |
| 14. Tetes tebu | |

Jagung merupakan salah satu dari sumber karbohidrat terbaik. Jagung juga merupakan salah satu sumber energi terbaik dan

kandungan lemaknya membuat jagung terasa sedap, terutama bagi hewan yang tergolong ke dalam ruminansia. Namun, nilai energi yang tinggi merupakan dilema, karena tingkat lemak yang tinggi dapat mempercepat terjadinya ketengikan (*rancidity*). Gula juga merupakan sumber energi. Tipe gula sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan kelulushidupan ikan. Sumber karbohidrat penting lainnya adalah buah-buahan, hasil samping buah-buahan, hasil samping penggilingan, dan sebagainya. Beberapa jenis bahan pakan yang berfungsi sebagai sumber karbohidrat mengandung protein dengan persentase yang berbeda-beda. Sumber karbohidrat dengan persentase kandungan protein yang bervariasi ini adalah penting secara ekonomis. Hal ini untuk menekan tingginya suplementasi protein dalam formulasi.

G. Analisis Karbohidrat.

Kandungan karbohidrat dalam bahan penyusun pakan ataupun pakan ikan dapat diketahui dengan menggunakan metode secara tidak langsung, yaitu setelah melalui analisis semua komponen organik dan anorganik lainnya terlebih dahulu dari bahan atau pakan tersebut. Persentase atau bobot karbohidrat pakan dapat dihitung berdasarkan selisih antara persentase total pakan (yaitu 100%) dengan persentase semua komponen penyusun lainnya yang telah dianalisis tersebut. Karbohidrat tersusun atas 2 komponen utamanya, yaitu bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) atau *nitrogen-free extract* (NFE). Analisis tersebut merupakan analisis proksimat atau disebut juga dengan '**The Weende Proximate Analyses**' (Gambar F.1). Keterangan lebih lanjut mengenai prosedur analisis proksimat beserta penjelasannya dapat dibaca pada Cho *et al.* (1985), *Finfish Nutrition in Asia-Methodological Approaches to Research and Development*.



Gambar F.1. The Weende Proximate Analyses. (Diadopsi dari Cho *et al.*, 1985).

2.2. LATIHAN

Kerjakan latihan berikut ini sebagaimana instruksi di bawah:

1. Seluruh mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Nutrisi Ikan dibagi kedalam 5 kelompok studi;
2. Setiap kelompok studi tersebut memilih masing-masing 1 jenis bahan yang mengandung karbohidrat:
 - a. Kelompok studi 1 membawa daging ikan atau udang;
 - b. Kelompok studi 2 membawa daging ayam atau sapi;
 - c. Kelompok studi 3 membawa kedelai atau petai cina;
 - d. Kelompok studi 3 membawa 1 jenis buah-buahan;
 - e. Kelompok studi 5 membawa 1 jenis sayuran atau hijauan.

3. Bawa setiap bahan tersebut ke laboratorium nutrisi atau makanan, dan analisis kandungan karbohidratnya. Pisahkan antara kadar BETN dan serat kasar;
4. Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan kelompok studi lainnya;
5. Buat laporan lengkap dan presentasikan di depan semua kelompok studi serta dosen pengampu.

3. Penutup

3.1. Test Formatif

Jawablah soal-soal di bawah ini.

A. Jawaban Benar / Salah

1. Reaksi kimiawi pada proses fotosintesis adalah: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{cahaya} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + \text{O}_2 + \text{panas}$.
2. Tingkat dan jenis kebutuhan ikan akan nutrisi berkorelasi dengan tingkat dan jenis nutrisi yang terdapat dalam tubuh ikan tersebut.
3. Jenis monosakarida yang paling umum dijumpai di alam adalah glukosa, sedangkan yang paling manis adalah fruktosa.
4. Jagung merupakan salah satu dari sumber karbohidrat terbaik dan memiliki kandungan lemak yang rendah dibandingkan dengan tepung gandum.

B. Jawaban singkat

1. Tuliskan rumus kimia karbohidrat!.
2. Sebutkan definisi karbohidrat!.
3. Kitin merupakan persenyawaan khusus. Pada ikan, dimana persenyawaan tersebut biasa dan banyak dijumpai?
4. Sebutkan berbagai jenis sumber karbohidrat yang biasa digunakan sebagai bahan penyusun pakan dalam pakan ikan! (3 jawaban benar dianggap sudah benar).

5. Siapa yang mengembangkan metode analisis proksimat pakan? Dan mengapa disebut dengan proksimat?

C. Uraian

1. Jelaskan perbedaan karakteristik yang mendasar antara karbohidrat dengan ikatan α dan ikatan β .
2. Buatlah diagram lengkap mengenai langkah-langkah atau tahapan penting pada analisis proksimat dari suatu bahan pakan!

3.2. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Mahasiswa diminta untuk pergi mencari literatur di perpustakaan. Catat berdasarkan pada berbagai macam literatur, berbagai macam kandungan karbohidrat (BETN dan serat kasar) dari berbagai bahan yang meliputi daging ikan, daging udang, daging ayam, daging sapi, kedelai, petai cina, jagung, dedak atau bekatul, jenis buah-buahan, dan jenis sayuran atau hijauan. Bandingkan kandungan karbohidrat (BETN dan serat kasar) masing-masing bahan tersebut. Amati dan pelajari, lalu tulis apa yang dapat Saudara simpulkan!. Bandingkan dengan berbagai fenomena yang terjadi pada latihan di atas dengan hasil analisis laboratorium.

Untuk dapat dinyatakan lolos Sub-Pokok Bahasan II, mahasiswa harus mampu menjawab semua pertanyaan paling tidak 70% benar. Selamat bagi Anda yang telah lolos sub-pokok bahasan ini!

3.3. Rangkuman

Karbohidrat didefinisikan sebagai suatu senyawa yang mengandung karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan ke dua elemen terakhir (yaitu H dan O) terdapat pada suatu perbandingan sebagaimana dalam air. Rumus kimia umum dari karbohidrat adalah $C_n(H_2O)_m$ dengan 'n' kadangkala memiliki nilai yang sama dengan 'm'. Karbohidrat disintesis di dalam semua tanaman hijau dengan suatu proses yang disebut fotosintesis. Karbohidrat mempunyai peran utama yang sangat penting pada ikan dan mahluk hidup lainnya dikarenakan 2 alasan. Pertama, karbohidrat merupakan salah satu dari 6 komponen molekular pembentuk sel. Kedua, karbohidrat membentuk bagian terbesar kedua dari suplai pakan ikan setelah protein. Monosakarida adalah unit dasar dari semua karbohidrat. Disakarida merupakan kombinasi dari dua molekul monosakarida. Semua polisakarida merupakan produk kondensasi dari heksosa atau monosakarida lainnya. Kandungan karbohidrat dalam bahan penyusun pakan ataupun pakan ikan dapat diketahui dengan menggunakan metode secara tidak langsung, yaitu setelah melalui analisis semua komponen organik dan anorganik lainnya terlebih dahulu.

Analisis tersebut merupakan analisis proksimat atau disebut juga dengan 'The Weende Proximate Analyses'. Karbohidrat tersusun atas 2 komponen utamanya, yaitu bahan ekstrak tanpa nitrogen (BETN) atau *nitrogen-free extract* (NFE).

3.4. Kunci Jawaban Test Formatif

A. Jawaban Benar / Salah

1. Jawab:.. Salah
2. Jawab:.. Benar
3. Jawab:.. Benar
4. Jawab:.. Salah

B. Jawaban singkat

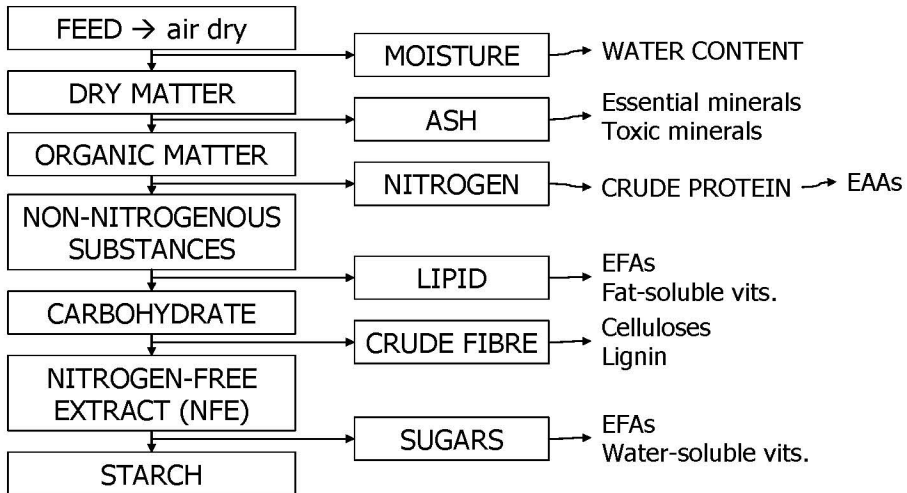
1. Jawab: Rumus kimia karbohidrat: $C_n(H_2O)_m$
2. Jawab: Karbohidrat didefinisikan sebagai suatu senyawa yang mengandung karbon (C), hidrogen (H), dan oksigen (O) dengan ke dua elemen terakhir (yaitu H dan O) terdapat pada suatu perbandingan sebagaimana dalam air.
3. Jawab: Sisik
4. Jawab: tepung gandum, tepung ketela, bekatul, tepung jagung, gula.
5. Jawab:
 - a. Weende
 - b. Karena penghitungannya berdasarkan pada perkiraan atau estimasi atau konversi dari komponen tertentu (misalnya untuk penentuan kadar protein dan lemak) atau kalkulasi berdasarkan pada bahan penyusun pakan lainnya (misalnya pada penentuan kadar karbohidrat BETN)

C. Uraian

1. Jawab: Perbedaan karbohidrat dengan dengan ikatan α dan dan ikatan β terletak pada: a) perbedaan sifat secara kimiawi sebagaimana terdapat pada rumus kimia α -D-glukosa dan β -D-glukosa; dan b) perbedaan sifat secara biologis yang ditunjukkan oleh jenis ikatannya. Polisakarida *starch* dan glikogen yang tersusun atas rantai bercabang atau helikal dari unit-unit glukosa- α secara biologis lebih reaktif, sedangkan

polisakarida selulosa yang tersusun atas unit-unit glukosa- β dari rantai-rantai zig-zag cenderung tidak mudah larut.

2. Jawab:



DAFTAR PUSTAKA/ACUAN/BACAAN ANJURAN

- Cho, C.Y., Cowey, C.B. and Watanabe, T. 1985. *Finfish Nutrition in Asia-Methodological Approaches to Research and Development*. IDRC, Canada. 154 p.
- Campbell P.N. and Smith, A.D. 1982. *Biochemistry Illustrated*. Churchill Livingstone, Wilture Enterprises (Internat.) Ltd. 225 p.
- Groff J.L. and Gropper, S.S. 2000. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. Wadsworth, Thomson Learning, USA. 584 p.
- Halver, J.E. 1972. *Fish Nutrition*. Acad. Press., New York. 713 p.
- Halver, J.E. 1989. *Fish Nutrition*. 2nd ed. Acad. Press, Inc., San Diego. 798 p.
- Halver, J.E. and Hardy, R.W. 2002. *Fish Nutrition*. 3rd ed. Acad. Press, Amsterdam. 822 p.

- Lawrence, E. 1989. Biological Terms. 10th ed. Longman Sci. & Technical, Singapore. 645 p.
- Lovell, T. 1989. Nutrition and Feeding of Fish. Van Nostrand reinhold, New York. 260 p.
- NRC. 1977. Nutrient Requirements of Warmwater Fishes. Nation. Acad. Sci., Washington, DC., USA. 78 p.
- NRC. 1982. Nutrient Requirements of Warmwater Aquatic Animals. Nation. Acad. Press, Washington, DC., USA. 252 p.
- Parker, R. 2002. Aquaculture Science. 2nd ed. Delmar, Thomson Learning, USA. 621 p.
- Piliang, W.G. dan Djojosoebagio, S. 2000. Fisiologi Nutrisi. Volume I. Edisi ke-3. IPB Press. 289 hal.
- Piliang, W.G. dan Djojosoebagio, S. 2000. Fisiologi Nutrisi. Volume I. Edisi ke-3. IPB Press. 256 hal.

SENARAI

- Ikatan α dan β : jenis ikatan kimia atau konfigurasi atom dari suatu molekul yang memiliki rumus kimia sama, namun berbeda karakteristiknya
- BETN: singkatan dari bahan ekstrak tanpa nitrogen. Bagian atau komponen dari karbohidrat yang memiliki nilai energi. Komponen lainnya adalah serat kasar
- NFE: *nitrogen free extract* = BETN
- Proksimat: perkiraan, pendekatan. Analisis proksimat: analisis yang didasarkan pada nilai perkiraan penghitungan

II. PERAN DAN KEBUTUHAN KARBOHIDRAT

1. Pendahuluan

1.1. Deskripsi Singkat

Peran utama karbohidrat adalah sebagai sumber energi. Kemampuan spesies ikan karnivora dalam menghidrolisis atau mencerna karbohidrat kompleks adalah terbatas dikarenakan lemahnya aktivitas enzim amilolitik dalam saluran pencernaan ikan. Ikan dengan kebiasaan makan (*feeding habit*) yang berbeda akan berbeda pula tingkat kemampuannya dalam memanfaatkan berbagai jenis karbohidrat sebagai sumber energi. Berbeda dengan mamalia yang dengan segera menggunakan glikogen cadangan saat lapar, ikan tidak dengan cepat memobilisasi cadangan glikogen yang tersimpan dalam hatinya bilamana ikan tersebut kelaparan. Lambatnya pemanfaatan glikogen cadangan pada ikan juga mengindikasikan bahwa kapasitas ikan untuk mengoksidasi glukosa secara aerobik agak terbatas. Pada ikan dan udang tidak terdapat kebutuhan yang absolut atau mutlak akan karbohidrat pakan.

1.2. Relevansi

Peran utama karbohidrat dalam pakan ikan adalah sebagai sumber energi. Tidak sebagaimana sumber energi lainnya (yaitu protein dan lemak), tingkat kebutuhan ikan akan karbohidrat tidak dapat didefinisikan dengan jelas. Namun demikian, karbohidrat memiliki peran penting sebagai sumber energi pengganti atas protein pakan, sehingga pemanfaatan protein pakan menjadi lebih efisien dan maksimum sebagai deposit protein dalam tubuh ikan. Fenomena ini sering disebut sebagai *protein sparing effects*. Dikarenakan karbohidrat merupakan sumber energi pakan yang harganya jauh lebih murah bila dibandingkan dengan protein ataupun lemak, maka pemahaman atas kebutuhan maksimum karbohidrat oleh ikan menjadi penting agar tercipta formula pakan yang efisien, berkualitas, namun dengan harga yang relatif lebih murah.

1.3. Kompetensi

1.3.1. Standar Kompetensi

Pada akhir penyampaian materi kuliah ‘Peran dan Kebutuhan Karbohidrat’ ini mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan kembali peran penting karbohidrat dalam pakan serta tingkat kebutuhannya oleh jenis ikan tertentu. Disamping itu, mahasiswa mampu menjelaskan kembali keterkaitan antara karbohidrat dengan sumber energi lainnya dalam pakan; juga konsep dasar *protein sparing effect*.

1.3.2. Kompetensi Dasar

Pada akhir pemaparan dari materi ini, mahasiswa semester IV PS. Budidaya Perairan, Jurusan Perikanan, hendaknya mampu menyebutkan, menjelaskan, dan/atau mendeskripsikan kembali:

- a. Berbagai sumber karbohidrat penting untuk ikan;
- b. Berbagai jenis komponen karbohidrat yang esensial untuk ikan serta makna nutrisinya;
- c. Kebutuhan ikan akan karbohidrat dan keterkaitannya dengan komponen nutrisi penghasil energi lainnya, seperti protein dan lemak;
- d. Konsep dasar *protein sparing effect*;
- e. Pentingnya imbalan protein – karbohidrat dalam pakan ikan; serta
- f. Peran penting secara integratif dari ke tiga komponen makro-nutrien dalam pakan ikan.

2. Penyajian

2.1. URAIAN

A. Peran Karbohidrat.

Peran karbohidrat secara biologis dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a. Sebagai polisakarida yang tersimpan sebagai cadangan makanan, misalnya *starch* atau tepung pada tanaman dan glikogen pada ikan atau hewan lainnya;
- b. Sebagai polisakarida struktural, misalnya selulosa pada tanaman dan kitin pada udang atau insekta; dan
- c. Sebagai sumber energi metabolik (adenosin trifosfat, ATP) yang sangat penting dalam tubuh manusia, ternak darat, maupun ikan. ATP mengandung ikatan-ikatan berenergi tinggi dan merupakan bentuk dimana sebagian besar energi bebas disimpan di dalam tubuh. Reaksi pembentukan ATP digambarkan sebagai berikut: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 38 \text{ ATP}$. Jadi, setiap pembakaran 1 mol glukosa menghasilkan 38 mol ATP.

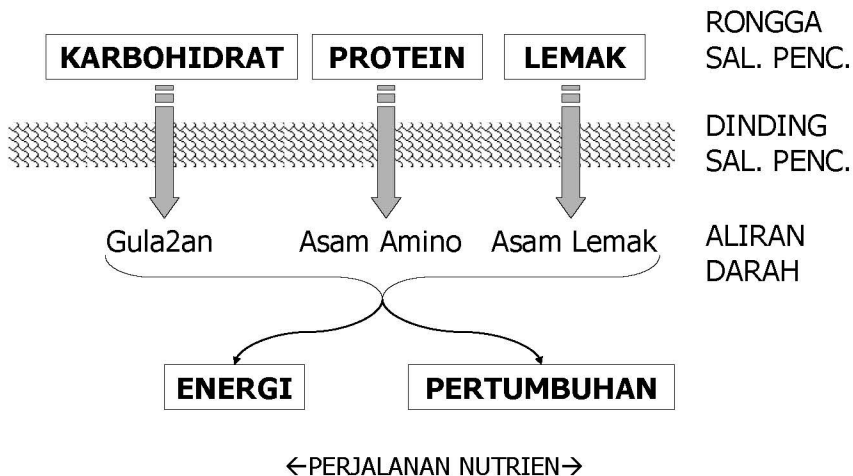
Peran utama karbohidrat dalam nutrisi adalah sebagai sumber energi dalam pakan yang harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan protein. Karbohidrat dari sumber karbohidrat (yaitu bahan penyusun pakan yang kaya akan karbohidrat) umumnya mengandung protein kasar pada kadar yang rendah (yaitu $\pm 12\%$). Dalam hal ini, hanya 75-85% dari total protein tersebut dapat dicerna.

Kemampuan organisme untuk mencerna karbohidrat dari sumber karbohidrat sedikit lebih tinggi. Misalnya, $\pm 95\%$ karbohidrat dari sumber karbohidrat seperti tepung (*starch*) dapat dicerna. Butir biji-bijian (*cereal grains*) umumnya mengandung 2-5% ekstrak eter. Tetapi, dedak padi (*rice bran*) yang merupakan hasil samping penggilingan padi, misalnya, mengandung 13% ekstrak eter kasar. Dalam hal ini, dedak padi merupakan sumber karbohidrat. Kandungan serat kasar (SK, *crude fibre*) dari sumber karbohidrat adalah bervariasi, $\pm 6\%$. Serat kasar dibutuhkan dalam membantu proses pencernaan makanan. Kandungan serat kasar yang berbeda pada masing-masing bahan penyusun pakan dapat mempengaruhi nilai energi yang tersedia (*available energy*). Kadar serat kasar dalam pakan berkorelasi negatif

dengan *available energy* dalam pakan. Semakin tinggi kandungan serat kasar pakan maka semakin rendah *available energy*. Hal ini dikarenakan serat kasar tidak mampu menyediakan energi yang dapat dimanfaatkan oleh ikan. Pada akhirnya, kandungan serat kasar dalam pakan mempengaruhi nilai pemberian pakan tersebut secara relatif. Fenomena ini terkait dengan total pemanfaatan bobot pakan, protein, dan energi yang digunakan ikan pada proses metabolisme dan pertumbuhan (baca pula Pokok Bahasan III, Materi bahasan Kebutuhan Protein). Bilamana sumber karbohidrat disubstitusi dengan sumber karbohidrat lainnya maka perubahan nilai energi dalam pakan kemungkinan dikarenakan kandungan serat kasarnya.

B. Perjalanan Karbohidrat.

Karbohidrat perlu dicerna, diserap, dan dimetabolisme terlebih dahulu sebelum diubah menjadi energi yang bermanfaat. Perjalanan karbohidrat beserta nutrisi lainnya digambarkan pada proses sebagaimana Gambar F.2 di bawah ini.



Gambar F.2. Proses Umum Perjalanan Karbohidrat dan Berbagai Nutrien Lainnya beserta Penggunaannya dalam Tubuh Ikan.

Nutrien yang dikonsumsi oleh ikan dicerna di dalam saluran pencernaan (*gut*), diserap oleh dinding saluran pencernaan, dan muncul dalam aliran darah (*bloodstream*) sebagai molekul-molekul komponennya. Karbohidrat akan dihidrolisis menjadi berbagai jenis gula-gulaan yang sederhana, protein dihidrolisis menjadi berbagai jenis asam amino, dan lemak akan diurai menjadi berbagai jenis asam lemak dan berbagai komponen penyusun lainnya. Molekul-molekul tersebut mengalir dalam tubuh dan diambil oleh berbagai jenis jaringan untuk selanjutnya mengalami berbagai reaksi kimia, baik pemecahan molekul atau katabolisme maupun sintesis molekul atau anabolisme. Hasil akhir dari reaksi tersebut adalah degradasi untuk melepaskan energi yang terkandung di dalam molekul tersebut atau pertumbuhan dari organisme sebagaimana ditunjukkan oleh produksi jaringan.

C. Pemanfaatan Karbohidrat Pakan oleh Ikan.

Kemampuan spesies ikan karnivora dalam menghidrolisis atau mencerna karbohidrat kompleks adalah terbatas dikarenakan lemahnya aktivitas enzim amilolitik dalam saluran pencernaan ikan. Oleh karena itu, selulose atau *crude fibre* dalam pakan tidak mempunyai nilai energi yang dapat dimanfaatkan oleh ikan. Fenomena tersebut berpengaruh terhadap jumlah total energi metabolik yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung pertumbuhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa selulose pakan dalam jumlah yang berlebihan mempunyai pengaruh yang menurunkan pertumbuhan serta efisiensi pakan. Namun demikian, ikan dengan kebiasaan makan (*feeding habit*) yang berbeda akan berbeda pula tingkat kemampuannya dalam memanfaatkan berbagai jenis karbohidrat sebagai sumber energi. Selain faktor internal bio-fisiologis ikan, faktor eksternal kimiawi pakan juga menentukan tingkat pencernaan energi pakan sebagaimana dijelaskan pada topik 'Pengertian Karbohidrat' di atas. Berbagai macam penelitian mengindikasikan bahwa:

1. Tingkat pencernaan *starch* spesies ikan seperti trout menurun sejalan dengan peningkatan proporsi *starch* dalam pakan;
2. Percobaan pemberian pakan dalam jangka waktu yang lama pada spesies ikan karnivora (yaitu jenis salmonid) menunjukkan bahwa tingkat karbohidrat pakan yang tinggi menekan pertumbuhan, meningkatkan kadar glikogen liver, dan akhirnya menyebabkan kematian;
3. Sebaliknya, spesies ikan herbivora atau omnivora perairan tropis (*warmwater*) seperti *carp* (*C. carpio*), *channel catfish* (*I. punctatus*), tilapia (*O. niloticus*), dan *ell* (*A. japonica*) lebih toleran terhadap tingkat karbohidrat pakan yang tinggi. Dalam hal ini, karbohidrat pakan dapat digunakan dengan lebih efektif sebagai sumber energi dan kelebihanannya disimpan dalam bentuk lipid tubuh;
4. Ikan perairan panas (*warmwater fish*) mampu mencerna karbohidrat dalam pakan secara lebih baik daripada ikan perairan dingin (*coldwater fish*) ataupun ikan laut (*marine fish*). Kemampuan untuk menggunakan karbohidrat sebagai sumber energi bervariasi diantara spesies ikan; dan
5. Penggunaan karbohidrat pakan juga telah ditemukan bervariasi menurut tingkat kompleksitas atau susunan kimiawi dari sumber karbohidrat yang digunakan. Dalam hal ini, polisakarida dan disakarida yang dapat dicerna mungkin saja mempunyai pengaruh yang lebih menguntungkan daripada monosakarida terhadap pertumbuhan. Selain itu, karakteristik fisik sumber karbohidrat, misalnya *starch* yang dimasak atau dijadikan gelatin, mempunyai tingkat pencernaan yang lebih tinggi dan pengaruh yang lebih menguntungkan terhadap pertumbuhan daripada *starch* mentah.

Ikan mencerna gula-gulaan sederhana secara efisien. Jika gula-gulaan tersebut menjadi lebih tinggi kadarnya dan lebih kompleks

susunan kimiawinya, maka kecernaannya menurun secara cepat. Beberapa bentuk karbohidrat yang dapat dicerna hendaknya dimasukkan ke dalam pakan ikan. Karbohidrat meningkatkan pertumbuhan dan menyediakan prekursor untuk beberapa asam amino serta asam nukleat. Juga, karbohidrat merupakan sumber energi pakan yang paling tidak mahal. Pada ikan perairan panas, tepung biji-bijian menyediakan sumber karbohidrat yang tidak mahal, namun pada ikan perairan dingin penggunaannya terbatas. Tingkat karbohidrat yang dapat dicerna pada pakan ikan trout pada umumnya lebih rendah daripada pakan lele (*catfish*). Dalam nutrisi, karbohidrat menggantikan sebagian protein, karena itu lebih sedikit protein akan digunakan untuk energi. Meskipun demikian, protein dan lemak menyediakan lebih banyak energi dalam pakan ikan.

Penting untuk direnungkan!!.

Kemampuan ikan atau udang dalam mengadopsi karbohidrat pakan yang tinggi bergantung pada resultante kemampuannya dalam mengkonversi/mengubah kelebihan energi (yaitu glukosa) menjadi lemak atau berbagai asam amino non-esensial. Sebagian besar spesies ikan yang dibudidayakan mempunyai saluran gastro-intestinal relatif pendek yang tidak mendukung perkembangan flora bakteri secara ekstensif (-tidak sebagaimana pada hewan ruminansia-). Oleh karena itu, aktivitas enzim selulase intestinal ikan dari bakteri yang menetap di lokasi tersebut menjadi lemah atau bahkan tidak ada.

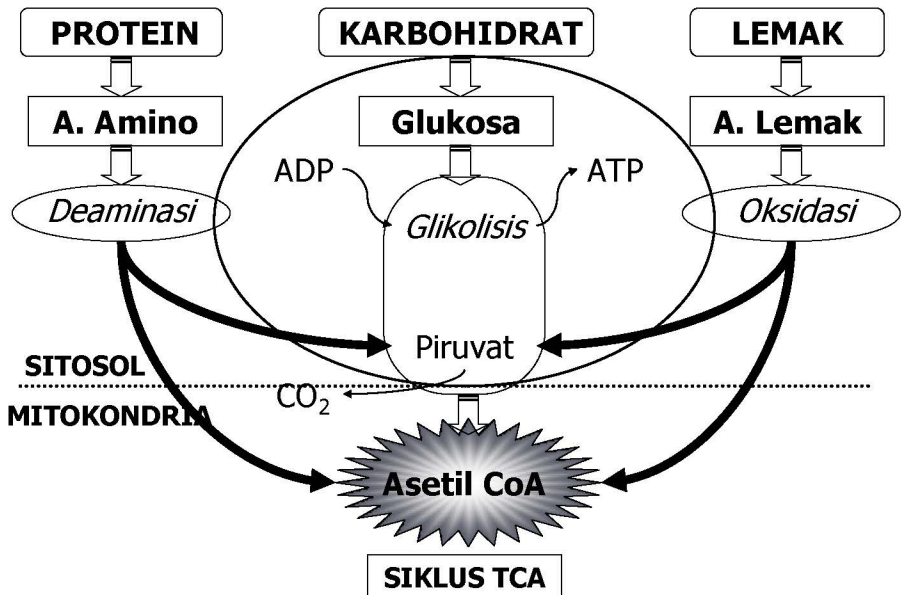
D. Penyimpanan dan Pemanfaatan Glikogen.

Meskipun glikogen merupakan sumber bahan bakar utama selama metabolisme anaerobik (yaitu pada proses glikogenolisis) di dalam *white muscle* ikan selama aktivitas berenang, namun kemampuan liver dan jaringan (*tissue*) untuk menyimpan glikogen adalah terbatas. Total karbohidrat yang tersimpan sebagai glikogen tidak lebih dari 1% bobot basah jaringan. Jika ikan menyimpan makanan cadangan dalam bentuk glikogen, namun lain halnya dengan udang. Jaringan tubuh juvenil udang *P. japonicus* menyimpan karbohidrat terutama dalam bentuk glukosa, asetil glukosamin, dan trehalosa.

Karbohidrat yang tersimpan dalam bentuk glikogen akan segera digunakan dan dirombak kembali menjadi energi saat hewan mamalia kelaparan (*fasting state condition*). Fenomena ini disebut dengan glikogenolisis, dan yang terjadi saat kadar glukosa darah turun kembali. Berbeda dengan mamalia yang dengan segera menggunakan glikogen cadangan saat lapar, ikan tidak dengan cepat memobilisasi cadangan glikogen yang tersimpan dalam hatinya bilamana ikan tersebut kelaparan. Hal ini terbukti dari hasil penelitian yang mengindikasikan bahwa oksidasi zat-zat non-karbohidrat (yaitu protein dan lemak) pada ikan yang dilaporkan mendahului mobilisasi dan hidrolisis glikogen. Dengan demikian, lemak dan protein cenderung dirombak menjadi energi terlebih dahulu (yaitu pada proses yang disebut dengan glukoneogenesis) sebelum perombakan glikogen (proses glikogenolisis) terjadi. Lambatnya pemanfaatan glikogen cadangan pada ikan juga mengindikasikan bahwa kapasitas ikan untuk mengoksidasi glukosa secara aerobik agak terbatas. Lebih lanjut diduga bahwa glukoneogenesis mungkin memainkan peran utama dalam mempertahankan kadar gula darah pada ikan yang sedang berpuasa atau lapar.

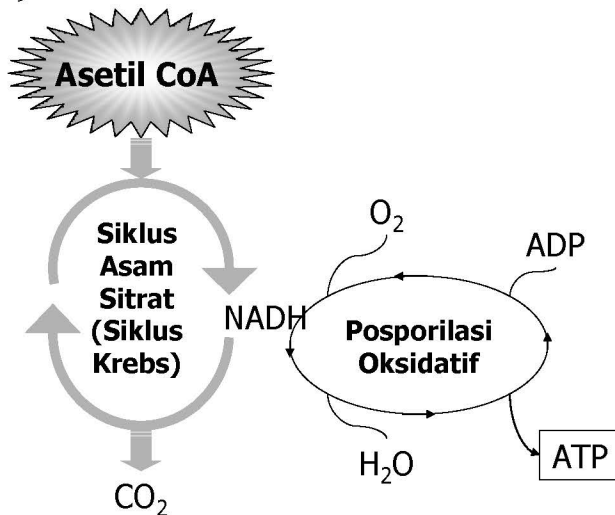
E. Transformasi Energi.

Karbohidrat perlu dihidrolisis terlebih dahulu menjadi glukosa sebelum mengalami proses metabolisme selanjutnya melalui suatu cara yang umum diyakini terjadi di dalam semua sel. Glukosa dipecah menjadi piruvat dan yang untuk selanjutnya diubah menjadi asetil coenzim A (asetil CoA). Selanjutnya, asetil CoA memasuki siklus asam sitrat atau *tricarboxylic acid cycle (TCA cycle)* untuk mengalami serangkaian reaksi selanjutnya. Asetil CoA juga berperan sebagai molekul perantara bagi protein dan lemak untuk dapat memasuki siklus asam sitrat atau siklus Krebs (lihat Gambar F.3).



Gambar F.3. Transformasi Energi Karbohidrat melalui Proses Glikolisis dan yang dihasilkan pula piruvat. Asetil CoA merupakan molekul antara bagi karbohidrat, protein, dan lemak untuk dapat memasuki siklus Krebs (TCA).

Asetil CoA yang memasuki siklus asam sitrat tersebut selanjutnya berikatan dengan proses fosforilasi oksidatif. Sebagai hasilnya adalah produksi karbondioksida (CO_2), konsumsi oksigen (O_2), dan pelepasan sejumlah energi yang kemudian disimpan sebagai molekul fosfat berenergi tinggi, biasanya adenosin trifosfat (ATP) (Gambar F.4).

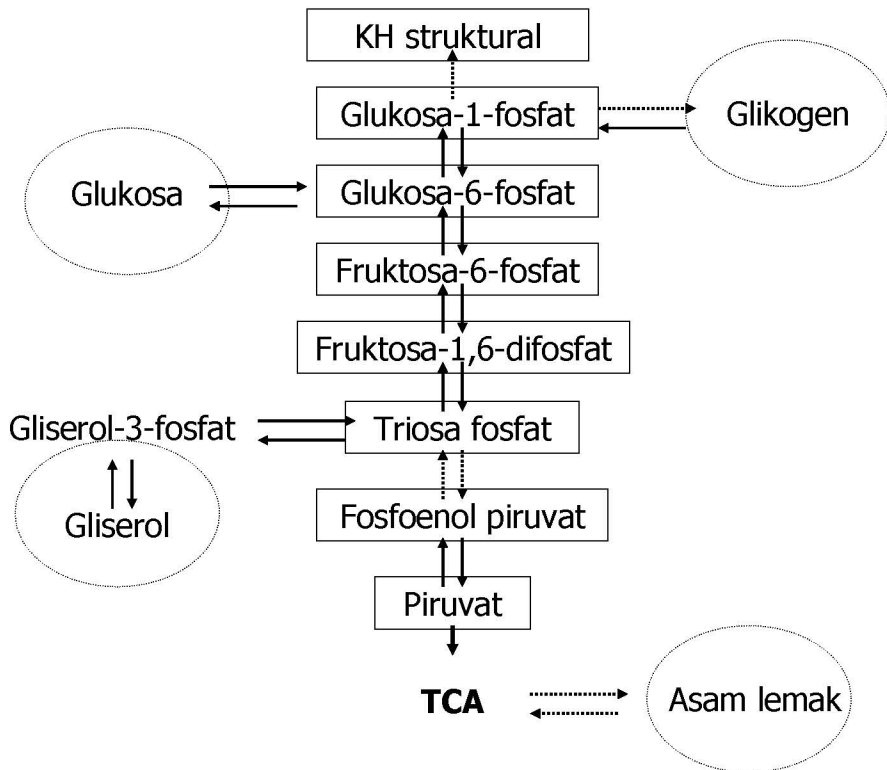


Gambar F.4. Asetil CoA Setelah Memasuki Siklus Krebs dan Berikatan dengan Proses Fosforilasi Oksidatif Menghasilkan CO_2 dan ATP.

Proses metabolisme glukosa secara anaerobik menjadi asam piruvat dan dengan menghasilkan sejumlah energi (ATP) disebut glikolisis. Oksidasi glukosa menjadi piruvat dikenal pula sebagai **Reversible Embden-Meyerhof Pathway** (Gambar F.5).

Pada pathway ini, glukosa hanya mempunyai 1 jalan yang prinsipil, yaitu fosforilasi ke glukosa-6-fosfat. Serangkaian fosforilasi glukosa C-1 dan C-6 memerlukan 2 molekul ATP. Proses fosforilasi dan isomerisasi tersebut menghasilkan konversi glukosa menjadi fruktosa-1,6-difosfat. Untuk setiap 1 mol glukosa yang dioksidasi menghasilkan

2 mol ATP dari proses glikolisis (4 mol ATP dihasilkan, dan 2 mol ATP digunakan).



Gambar F.5. Serangkaian Reaksi pada Proses Glikolisis yang Bersifat Bolak-Balik (*Reversible Embden-Meyerhof Pathway*).

F. Kebutuhan Karbohidrat.

Pada ikan dan udang tidak terdapat kebutuhan yang absolut atau mutlak akan karbohidrat pakan. Hal ini sangatlah berlawanan dengan protein dan lemak pakan, dimana kebutuhannya secara spesifik telah diketahui dengan jelas hingga asam amino dan asam lemak tertentu. Ikan memang tidak mempunyai kebutuhan yang spesifik akan

karbohidrat pakan. Namun, kelebihan karbohidrat dalam pakan dapat menyebabkan hati membengkak dan glikogen terakumulasi dalam hati. Saran secara umum adalah suatu pakan yang mengandung karbohidrat tercerna tidak lebih dari 12 %.

Mengapa kebutuhan yang pasti akan karbohidrat tidak diketahui?. Hal ini berkaitan dengan: a) kebiasaan makan (*feeding habit*) dari mayoritas spesies ikan dan udang yang dibudidayakan adalah bersifat karnivora atau omnivora; dan b) kemampuan ikan dan udang dalam mensintesis karbohidrat, yaitu tepatnya glukosa, dari zat-zat non-karbohidrat (yaitu protein dan lipid). Proses ini disebut dengan glukoneogenesis. Dalam hal poin (a), dapat dijelaskan bahwa karena secara biologis ikan karnivora dan omnivora mempunyai laju pertumbuhan relatif lebih tinggi dibandingkan dengan ikan herbivora, dan dengan demikian keuntungan yang diperoleh juga lebih tinggi, maka jenis ikan tersebut lebih banyak dipilih untuk dibudidayakan. Sementara itu, ikan omnivora maupun karnivora lebih menyukai dan lebih mampu memanfaatkan protein daripada karbohidrat. Karena itu, penelitian nutrisi ikan lebih terfokus pada kebutuhan protein untuk kedua jenis ikan tersebut dibandingkan dengan penelitian tentang karbohidrat untuk ikan herbivora. Dalam hal poin (b), dapat dijelaskan bahwa karena ikan dan udang mampu mencukupi kebutuhan energi pakannya melalui katabolisme protein dan lipid cadangan, bilamana sangat diperlukan, maka kebutuhan yang sesungguhnya akan karbohidrat menjadi tidak jelas atau tidak terukur dengan tepat.

Meskipun tidak ada kebutuhan yang pasti akan karbohidrat pakan untuk ikan dan udang, namun tak ada keraguan bahwa karbohidrat memerankan berbagai fungsi biologis penting dalam tubuh hewan, termasuk ikan. Penelitian mengindikasikan bahwa glukosa berperan sebagai sumber energi utama dari otak dan jaringan syaraf; dan sebagai *metabolic intermediate* untuk sintesis berbagai komponen biologis penting meliputi eksoskeleton kitin dari krustase, asam nukleat RNA dan DNA, dan berbagai sekresi mukosa *mucopolysaccharides*.

Meskipun karbohidrat dikaitkan sebagai nutrisi pakan non-esensial untuk ikan dan udang, namun keterlibatannya dalam pembuatan pakan adalah pasti. Hal ini dikarenakan beberapa alasan, diantaranya:

1. Karbohidrat mewakili sumber energi pakan yang tidak mahal dan yang berharga untuk spesies ikan non-karnivora dan udang;
2. Penggunaan karbohidrat secara cermat dalam pembuatan pakan dapat menggantikan sebagian fungsi protein yang lebih berharga untuk pertumbuhan daripada sebagai sumber energi, suatu prosedur yang disebut *protein sparing*;
3. Karbohidrat pakan berperan sebagai unsur esensial dalam pembuatan pakan tahan air bila digunakan sebagai *binder* (yaitu: *starch* yang di-*gelatin*-kan, *alginate*, dan *gums*); dan
4. Sumber karbohidrat tertentu (misalnya: *cane* atau *beet molasses*) berperan sebagai komponen-komponen pakan yang dapat meningkatkan rasa atau palatabilitas pakan dan menurunkan kandungan hancuran atau debu (*dust*) pakan pada produk akhir.

Peranan dari karbohidrat dalam pakan dan kontribusi glukosa terhadap kebutuhan ikan akan energi total tidaklah jelas. Penelitian menemukan bukti bahwa ikan mas memanfaatkan protein dan lemak terlebih dahulu daripada karbohidrat untuk energi metabolik. Data yang tersedia saat ini menunjukkan bahwa tidak terdapat kebutuhan karbohidrat oleh ikan-ikan daerah tropis meskipun karbohidrat dapat mengganti protein pada pakan ikan lele. Penelitian lain telah menunjukkan bahwa sukrosa atau dekstrin merupakan suatu sumber karbohidrat yang sesuai untuk juvenil *Penaeus monodon*. Disamping itu diduga bahwa *starch* tampak lebih cocok untuk udang daripada glukosa. Penambahan glukosa (yaitu lebih dari 10%) pada pakan secara

umum akan menurunkan pertumbuhan beberapa jenis udang seperti *P. Aztecus*, *P. Duorarum*, dan *P. Japonicus*.

G. Studi Kasus.

Terdapat contoh studi kasus mengenai kebutuhan udang akan karbohidrat. Studi kasus ini dilakukan di Laboratorium Pakan SEAFDEC, Philippine, dengan mengambil topik: 'Perbedaan tipe gula dan tepung (*starch*) yang diberikan sebagai pakan pada udang *P. Monodon*'. Hasil menunjukkan bahwa: a) udang yang diberi pakan maltosa dan tetes (*molasses*) dalam suatu ransum murni pada level 10 atau 40% diperoleh kelulushidupan terendah dalam 10 hari pertama; dan b) udang yang diberi pakan sukrosa diperoleh tingkat kelulushidupan tertinggi sesudah 8 minggu pemberian pakan.

2.2. LATIHAN

Kerjakan latihan berikut ini sebagaimana instruksi di bawah:

1. Seluruh mahasiswa yang mengikuti mata kuliah Nutrisi Ikan dibagi kedalam 6 kelompok studi;
2. Setiap 2 kelompok studi memilih jenis ikan yang sama dan dengan *feeding habit* yang sama (mis: bawal untuk karnivora, tilapia atau lele untuk omnivora, ataupun gurame atau *grass carp* untuk herbivora);
3. Setiap kelompok studi dilengkapi dengan 3 buah akuarium atau wadah pemeliharaan lengkap dengan sistem pemeliharaannya;
4. Setiap akuarium diisi 5 ekor dari jenis yang sama.
5. Ikan terpilih hendaknya memiliki bobot atau ukuran tubuh yang setara sehingga tidak terjadi persaingan dalam mendapatkan makanan;
6. Kelompok studi 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 masing-masing membuat 1 jenis pakan sederhana I atau II dengan ketentuan sebagai berikut:

- a. Kelompok studi 1, 2, dan 3 membuat pakan sederhana I, sedangkan kelompok studi 4, 5, dan 6 membuat pakan sederhana II;
 - b. Pakan sederhana I memiliki kadar karbohidrat rendah (20 – 30%);
 - c. Pakan sederhana II memiliki kadar karbohidrat tinggi (30 – 40%);
 - d. Pakan sederhana I dan II hendaknya memiliki kandungan protein dengan perbedaan <5% dan perbedaan kandungan karbohidrat $\pm 10\%$;
7. Amati dan catat tekstur permukaan, bau, dan warna pakan;
8. Setiap kelompok studi memberi pakan kepada ikan peliharaannya selama 4 minggu masing-masing dengan pakan yang dibuatnya dengan ketentuan sebagai berikut:
 - c. Pakan diberikan sedikit demi sedikit hingga kenyang (secara *at satiation*). Metode tersebut biasanya membutuhkan waktu ± 30 menit periode makan;
 - d. Pakan diberikan sebanyak 2 kali pada pagi dan sore hari.
9. Selama 4 minggu pemberian pakan, amati dan catat berbagai fenomena yang terjadi mencakup bobot pakan yang dikonsumsi setiap hari, respons saat pakan diberikan, pertumbuhan ikan, kelulushidupan, dan kualitas air;
10. Bandingkan hasil pengamatan Anda dengan kelompok studi lainnya;
11. Buat laporan lengkap dan presentasikan di depan semua kelompok studi serta dosen pengampu.

3. Penutup

3.1. Test Formatif

Jawablah soal-soal di bawah ini.

A. Jawaban Benar / Salah

1. Kadar serat kasar dalam pakan berkorelasi negatif dengan nilai energi yang tersedia (*available energy*) dalam pakan. Semakin tinggi kandungan serat kasar pakan maka semakin rendah *available energy*.
2. Selain tidak memiliki nilai energi metabolik, selulosa hampir tidak dapat dicerna oleh ikan. Oleh karena itu, keberadaannya dalam pakan sebenarnya tidak diperlukan.
3. Ikan dengan kebiasaan makan (*feeding habit*) yang berbeda akan berbeda pula tingkat kemampuannya dalam memanfaatkan karbohidrat sebagai sumber energi.
4. Tingkat pencernaan sumber karbohidrat, misalnya *starch*, dapat ditingkatkan melalui pemanasan.
5. Pada saat sedang berpuasa atau lapar, ikan akan segera memanfaatkan glikogen cadangan, baru kemudian lemak dan protein tubuh.
6. Selain karbohidrat, protein dan lemak perlu juga diubah menjadi asetil CoA, yaitu molekul yang berperan sebagai perantara untuk dapat memasuki siklus Krebs.

B. Jawaban singkat

1. Sebutkan 3 peran penting karbohidrat secara biologis!. Beri sedikit keterangan tambahan!.
2. Mengapa kemampuan spesies ikan karnivora dalam menghidrolisis atau mencerna karbohidrat kompleks adalah terbatas?
3. Bandingkan dengan hewan mamalia, bagaimana ikan mendapatkan energi saat tidak ada makanan (*fasting state condition*)?

4. Apa yang disebut dengan proses glikolisis?
5. Dari mana diperoleh sumber energi utama untuk otak dan jaringan syaraf?
6. Sebutkan 2 alasan utama mengapa penelitian tentang kebutuhan ikan akan karbohidrat tidak dapat diketahui dengan pasti?.

C. Uraian

1. Sebelum diubah menjadi energi yang bermanfaat, karbohidrat perlu dicerna, diserap, dan dimetabolisme terlebih dahulu.
 - a. Gambarkan dengan jelas garis besar proses perjalanan karbohidrat termasuk untuk jenis nutrisi lainnya!
 - b. Jelaskan proses tersebut, termasuk nutrisi lainnya!
2. Jelaskan reaksi metabolik glukosa hingga terbentuk ATP. Tulis reaksi tersebut dan berapa mol ATP terbentuk untuk setiap 1 mol glukosa?
3. Jelaskan peran, pengaruh, atau pemanfaatan karbohidrat pakan pada berbagai jenis ikan!.

3.2. Umpan Balik dan Tindak Lanjut

Mahasiswa diminta untuk pergi mencari literatur di perpustakaan. Catat berdasarkan pada berbagai macam literatur, serta bandingkan dengan berbagai fenomena respons dari ikan yang terjadi pada latihan di atas.

Untuk dapat dinyatakan lolos Sub-Pokok Bahasan II ini, mahasiswa harus mampu menjawab semua pertanyaan paling tidak 75% benar. Selamat bagi Anda yang telah lolos pokok bahasan ini serta materi kuliah nutrisi ikan pada bab-bab sebelumnya! Untuk selanjutnya, silakan pelajari topik Nutrisi Ikan penting lainnya yang terkait dengan komponen mikro-nutrien, non-nutrien, dan anti-nutrien. Selamat menjadi seorang nutrisianis ikan yang handal!!

3.3. Rangkuman

Peran karbohidrat secara biologis meliputi sebagai polisakarida yang tersimpan (sebagai cadangan makanan), sebagai polisakarida struktural, dan sebagai sumber energi metabolik (adenosin trifosfat, ATP). Reaksi pembentukan ATP digambarkan sebagai berikut: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 38 ATP$. Setiap pembakaran 1 mol glukosa menghasilkan 38 mol ATP. Peran utama karbohidrat dalam nutrisi adalah sebagai sumber energi dalam pakan yang harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan protein. Kadar serat kasar dalam pakan berkorelasi negatif dengan *available energy* dalam pakan tersebut. Semakin tinggi kandungan serat kasar pakan maka semakin rendah *available energy*. Pada akhirnya, kandungan serat kasar dalam pakan mempengaruhi nilai pemberian pakan tersebut secara relatif. Fenomena ini terkait dengan total pemanfaatan bobot pakan, protein, dan energi yang digunakan ikan pada proses metabolisme dan pertumbuhan.

Karbohidrat perlu dicerna, diserap, dan dimetabolisme terlebih dahulu sebelum diubah menjadi energi yang bermanfaat. Nutrien yang dikonsumsi oleh ikan dicerna di dalam saluran pencernaan (*gut*), diserap oleh dinding saluran pencernaan, dan muncul dalam aliran darah (*bloodstream*) sebagai molekul-molekul komponennya. Karbohidrat akan dihidrolisis menjadi berbagai jenis gula-gulaan yang sederhana. Kemampuan spesies ikan karnivora dalam menghidrolisis atau mencerna karbohidrat kompleks adalah terbatas dikarenakan lemahnya aktivitas enzim amilolitik dalam saluran pencernaan ikan. Ikan dengan kebiasaan makan (*feeding habit*) yang berbeda akan berbeda pula tingkat kemampuannya dalam memanfaatkan berbagai jenis karbohidrat sebagai sumber energi.

Ikan mencerna gula-gulaan sederhana secara efisien. Berbeda dengan mamalia yang dengan segera menggunakan glikogen cadangan saat lapar, ikan tidak dengan cepat memobilisasi cadangan glikogen yang tersimpan dalam hatinya bilamana ikan tersebut kelaparan. Lambatnya pemanfaatan glikogen cadangan pada ikan juga mengindikasikan bahwa kapasitas ikan untuk mengoksidasi glukosa secara aerobik agak terbatas. Diduga bahwa glukoneogenesis mungkin memainkan peran utama dalam mempertahankan kadar gula darah pada ikan yang sedang berpuasa atau lapar. Proses metabolisme glukosa secara anaerobik menjadi asam piruvat dan asetil CoA, dan dengan menghasilkan sejumlah energi (ATP) disebut glikolisis. Oksidasi glukosa menjadi piruvat dikenal pula Sebagai Reversible Embden-Meyerhof Pathway. Pada ikan dan udang tidak terdapat kebutuhan yang absolut atau mutlak akan karbohidrat pakan.

Kebutuhan yang pasti akan karbohidrat tidak diketahui. Hal ini berkaitan dengan: a) kebiasaan makan (*feeding habit*) dari mayoritas spesies ikan dan udang yang dibudidayakan adalah bersifat karnivora atau omnivora; dan b) kemampuan ikan dan udang dalam mensintesis karbohidrat, yaitu tepatnya glukosa, dari zat-zat non-karbohidrat (yaitu protein dan lipid). Meskipun tidak ada kebutuhan yang pasti akan karbohidrat pakan untuk ikan dan udang, namun tak ada keraguan bahwa karbohidrat memerankan berbagai fungsi biologis penting dalam tubuh hewan, termasuk ikan.

3.4. Kunci Jawaban Test Formatif

A. Jawaban Benar / Salah

1. Jawab: Benar
2. Jawab: Salah
3. Jawab: Benar
4. Jawab: Benar
5. Jawab: Salah
6. Jawab: Benar

B. Jawaban singkat

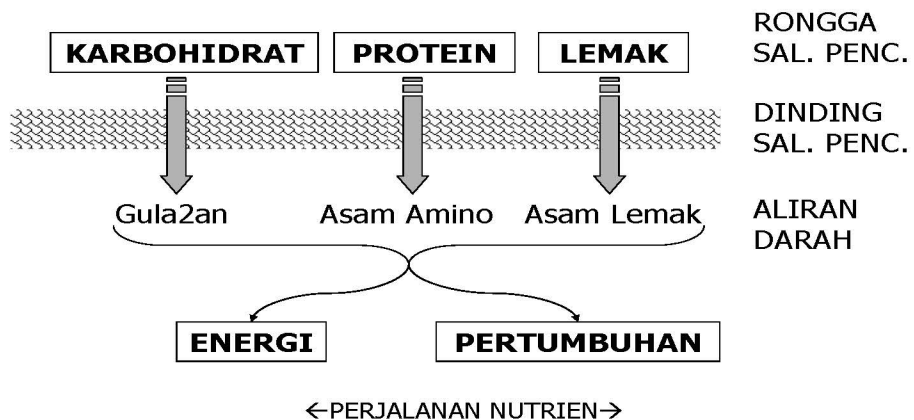
1. Jawab: Peran penting karbohidrat secara biologis adalah: a) sebagai makanan cadangan, yang tersimpan sebagai polisakarida; b) sebagai polisakarida struktural; dan c) sebagai sumber energi metabolik, dalam bentuk adenosin trifosfat (ATP).
2. Jawab: Kemampuan spesies ikan karnivora dalam menghidrolisis atau mencerna karbohidrat kompleks adalah terbatas dikarenakan lemahnya aktivitas enzim amilolitik dalam saluran pencernaan ikan karnivora.
3. Jawab: Pada saat tidak ada makanan (*fasting state condition*) mamalia mendapatkan energi terutama berasal dari perombakan cadangan glikogen yang terdapat dalam tubuh melalui proses glikogenolisis. Sedangkan untuk ikan, cadangan glikogen yang tersimpan dalam hati tidak dengan cepat dihidrolisis. Lemak dan protein cenderung dirombak menjadi energi terlebih dahulu (disebut glukoneogenesis).
4. Jawab: Proses metabolisme glukosa secara anaerobik menjadi asam piruvat dan asetil coenzim A (asetil CoA), dan menghasilkan sejumlah energi (ATP).
5. Jawab: Sumber energi utama untuk otak dan jaringan syaraf diperoleh dari glukosa.

6. Jawab: Kebutuhan yang pasti dari ikan akan karbohidrat tidak diketahui dikarenakan terkait dengan: a) kebiasaan makan (*feeding habit*) dari mayoritas spesies ikan dan udang yang dibudidayakan adalah bersifat karnivora atau omnivora; dan b) dimilikinya kemampuan ikan dan udang dalam mensintesis glukosa dari zat-zat non-karbohidrat (yaitu protein dan lipid), sehingga pengukuran kebutuhan karbohidrat menjadi kurang akurat.

C. Uraian

1. Jawab:

- a. Proses perjalanan karbohidrat, termasuk untuk jenis nutrisi lainnya, digambarkan sebagai berikut:



- b. Nutrien yang dikonsumsi oleh ikan dicerna di dalam saluran pencernaan (*gut*), diserap oleh dinding saluran pencernaan, dan muncul dalam aliran darah (*bloodstream*) sebagai molekul-molekul komponennya. Karbohidrat akan dihidrolisis menjadi berbagai jenis gula-gulaan yang sederhana, protein dihidrolisis menjadi berbagai jenis asam amino, dan lemak akan diurai menjadi berbagai jenis asam lemak dan berbagai komponen penyusun

lainnya. Molekul-molekul tersebut mengalir dalam tubuh dan diambil oleh berbagai jenis jaringan untuk selanjutnya mengalami berbagai reaksi kimia, baik pemecahan molekul atau katabolisme maupun sintesis molekul atau anabolisme. Hasil akhir dari reaksi tersebut adalah degradasi untuk melepaskan energi bermanfaat yang terkandung di dalam molekul tersebut (yaitu ATP) atau pertumbuhan dari organisme sebagaimana ditunjukkan oleh produksi jaringan.

2. Jawab: Reaksi metabolik pembentukan ATP dari glukosa digambarkan sebagai berikut: $C_6H_{12}O_6 + 6 O_2 \rightarrow 6 CO_2 + 6 H_2O + 38 ATP$. Jadi, setiap pembakaran 1 mol glukosa menghasilkan 38 mol ATP. Sebanyak 2 ATP dihasilkan pada proses glikolisis, dan 36 ATP lainnya diproduksi pada proses selanjutnya melalui siklus Krebs, yaitu pada proses fosforilasi oksidatif NADPH. NADPH tersebut dihasilkan selama proses siklus Krebs.
3. Jawab: Peran, pengaruh, atau pemanfaatan karbohidrat pakan pada berbagai jenis ikan yang berbeda juga berbeda, misalnya pada kasus:
 - a. spesies ikan karnivora (misalnya jenis salmonid) menunjukkan bahwa pemberian pakan dengan tingkat karbohidrat pakan yang tinggi dan dalam jangka waktu yang lama dapat menekan pertumbuhan, meningkatkan kadar glikogen liver, dan akhirnya menyebabkan kematian;
 - b. spesies ikan herbivora atau omnivora perairan tropis (*warmwater*) seperti *carp* (*C. carpio*), *channel catfish* (*I. punctatus*), tilapia (*O. niloticus*), dan *ell* (*A. japonica*) lebih toleran terhadap tingkat karbohidrat pakan yang tinggi. Dalam hal ini, karbohidrat pakan dapat digunakan dengan lebih efektif sebagai sumber energi dan kelebihanannya disimpan dalam bentuk lipid tubuh;

- c. spesies ikan perairan panas (*warmwater fish*) secara umum mampu mencerna karbohidrat dalam pakan secara lebih baik daripada ikan perairan dingin (*coldwater fish*) ataupun ikan laut (*marine fish*). Kemampuan untuk menggunakan karbohidrat sebagai sumber energi bervariasi diantara spesies ikan.

DAFTAR PUSTAKA/ACUAN/BACAAN ANJURAN

- Cho, C.Y., Cowey, C.B. and Watanabe, T. 1985. *Finfish Nutrition in Asia-Methodological Approaches to Research and Development*. IDRC, Canada. 154 p.
- Cowey, C.B. and Cho, C.Y. 1991. *Nutritional Strategies & Aquaculture Waste*. Univ. of Guelph, Canada. 275 p.
- Halver, J.E. 1972. *Fish Nutrition*. Acad. Press., New York. 713 p.
- Halver, J.E. 1989. *Fish Nutrition*. 2nd ed. Acad. Press, Inc., San Diego. 798 p.
- Halver, J.E. and Hardy, R.W. 2002. *Fish Nutrition*. 3rd ed. Acad. Press, Amsterdam. 822 p.
- Hepher, B. 1988. *Nutrition of Pond Fishes*. Cambridge Univ. Press. New York. 387 p.
- Lawrence, E. 1989. *Biological Terms*. 10th ed. Longman Sci. & Technical, Singapore. 645 p.
- Linder, M.C. 1992. *Biokimia Nutrisi dan Metabolisme-Dengan Pemakaian secara Klinis*. Diterjemahkan oleh Parakkasi, A. UI Press. 781 hal.
- Lovell, T. 1989. *Nutrition and Feeding of Fish*. Van Nostrand reinhold, New York. 260 p.
- NRC. 1977. *Nutrient Requirements of Warmwater Fishes*. Nation. Acad. Sci., Washington, DC., USA. 78 p.
- NRC. 1982. *Nutrient Requirements of Warmwater Aquatic Animals*. Nation. Acad. Press, Washington, DC., USA. 252 p.

- Parker, R. 2002. Aquaculture Science. 2nd ed. Delmar, Thomson Learning, USA. 621 p.
- Steffens, W. 1989. Principles of Fish Nutrition. Ellis Horwood Ltd., England. 384 p.
- Tacon, A.G.J. 1987. The Nutrition and Feeding of Farmed Fish and Shrimp-A Training Manual: The Essential Nutrients. FAO-UN., Brazil. 117 p.
- Webster, C.D. 2002. Nutrient Requirements and Feeding of Finfish for Aquaculture. CABI Pub., USA. 448 p.

SENARAI

ATP: singkatan dari adenosin trifosfat. Suatu koenzim yang sangat penting, ditemukan pada semua sel makhluk hidup. Menyediakan energi cadangan

Asetil CoA: suatu asetil tioester dari koenzimA. Dihasilkan pada pemecahan karbohidrat, asam amino, maupun asam lemak pada siklus asam sitrat

Siklus asam sitrat = *tricarboxylic acid cycle (TCA cycle)* = siklus Krebs

BIOGRAFI PENULIS



Dr.Ir. Subandiyono, MAppSc. adalah staf pengajar pada program studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Lahir di Kebumen pada tanggal 22 Januari 1962 dari pasangan bapak Soetopo M.D. dan ibu Hj. Saidah sebagai anak ke 5 dari 9 bersaudara. Pernikahan dengan Dr.Ir. Sri Hastuti, MSi. dikaruniai seorang putra yang diberi nama Sandi Sutopo Aribowo dan seorang putri yang diberi nama Anggit Gusti Nugraheni.

Gelar kesarjaan diperoleh dari Institut Pertanian Bogor (IPB) pada tahun 1987, dengan masuk sebagai mahasiswa melalui jalur perintis II. Sebagai penerima beasiswa peningkatan prestasi akademik (PPA) serta kemudian ikatan dinas (ID), pada tahun 1988 diterima sebagai dosen di Undip. Gelar *Master of Applied Science* diperoleh dari *University of Tasmania* (UNITAS), Australia pada tahun 1994. Gelar doktor diperoleh dari IPB pada tahun 2005 dengan perolehan sertifikat penghargaan sebagai wisudawan terbaik (IPK 4.0).

Kajian ilmu yang ditekuni mulai dari S1 hingga S3 adalah budidaya ikan (*aquaculture*) dengan lebih fokus pada bidang makanan dan nutrisi ikan, sebagaimana ditunjukkan pada topik skripsi, tesis, dan disertasi. Kajian nutrisi telah dilakukan terhadap udang galah serta ikan trout, beronang, gurami, mas, lele, nila, dan beberapa jenis ikan lainnya. Pada penerbitan tahun 2013, buku ajar 'Nutrisi Ikan' ini memperoleh hibah insentif penulisan buku ajar dari Dikti. Buku teks yang telah diterbitkan adalah mengenai 'BERONANG-serta Prospek Budidaya Laut di Indonesia', dan 'Teknologi Tepat Guna Budidaya Ikan LeleDumbo (*Clarias gariepinus*, Burch) Hygienis'.

Saat ini, Subandiyono masih mengemban amanah tugas tambahan sebagai Kepala Pusat Aktivitas Instruksional (Kapus PAI), Direktorat Pengembangan Pembelajaran dan Kerjasama Akademik (DP2KA), Universitas Diponegoro.



Dr.Ir. Sri Hastuti, MSi. adalah staf pengajar pada program studi Budidaya Perairan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro. Lahir di Kudus pada tanggal 22 Agustus 1963 dari pasangan bapak Moch. Jaelan Atmo dan ibu Soedjinah sebagai anak ke 4 dari 6 bersaudara. Menjalin rumah tangga dengan Dr.Ir. Subandiyono, MAppSc. sejak 1988 dan telah dikaruniai seorang putra pada tahun 1990 yang diberi nama Sandi S. Aribowo. Tahun 1996 memperoleh amanah lagi, seorang putri bernama Anggit G. Nugraheni. Gelar kesarjaan dan master

diperoleh dari Institut Pertanian Bogor (IPB), masing-masing pada tahun 1987 dan 1997. Gelar doktor diperoleh dari Institusi yang sama pada tahun 2005 dengan perolehan IPK 3.99.

Diterima sebagai dosen Undip pada tahun 1988 dan dengan tugas mengajar bidang budidaya ikan, seperti dasar-dasar akuakultur, manajemen akuakultur, manajemen kesehatan ikan, dan metodologi penelitian. Penelitian beronang telah ditekuni sejak 2000. Ketekunannya terhadap kajian kesehatan ikan telah membuahkan hasil dengan diperolehnya Hibah Bersaing, Hibah Kompetensi, dan Stratnas, yang merupakan skeme penelitian bergengsi dari Dikti. Penelitian terhadap lele dumbo (*Clarias gariepinus*) telah dilakukan sejak 2006. Sejak tahun 2010, Sri Hastuti fokus melakukan kajian terhadap jenis penyakit yang baru-baru ini ditemukan menyerang lele dumbo di berbagai daerah, yaitu lele kuning (*joundice catfish*). Dari hasil penelitian tersebut, diterbitkan buku teks yang diberi judul: 'Teknologi Tepat Guna Budidaya Ikan LeleDumbo (*Clarias gariepinus*, Burch) Hygienis'. Bersama-sama Subandiyono, Sri Hastuti menyusun dan menerbitkan buku teks berjudul: 'BERONANG-serta Prospek Budidaya Laut di Indonesia'. Pada penerbitantahun 2013, buku ajar 'Nutrisi Ikan' ini memperoleh hibah insentif penulisan buku ajar dari Dikti.



Sri Hastutipernah mengemban tugas sebagai sekretaris laboratorium prodi BDP, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro, hinggadua periode dan berakhir pada tahun 2016.




• **UNDIP** •
MAJU DENGAN MUTU

LOGO Q-A UNDIP

Gambar yang terlihat adalah berasal dari dua huruf yaitu Q (*quality*) dan A (*assurance*) yang disusun berimpit,

Huruf Q digambarkan sebagai lingkaran  dan lidah gelombang  yang berwarna merah

Lingkaran menggambarkan kontinuitas, keseimbangan, ketidakpuasan dalam melakukan penjaminan mutu. Lidah gelombang dengan warna merah dimaksudkan sebagai gambaran kedinamisan dari Quality Undip itu sendiri.

Huruf A digambarkan dalam bentuk segitiga  yang melambangkan Tridharma PT yang dijaminmutukan.

QA (Lingkaran dan segitiga) berwarna gradasi dengan gelap dibawah dan menjadi terang di atas sesuai dengan arah mata anak panah (segitiga) menggambarkan tujuan QA untuk mendukung Undip menuju kejayaan (kebersinaran).

Slogan “MAJU DENGAN MUTU” jelas menyatakan tekad UNDIP untuk terus maju, dan kemajuan yang dicapai adalah kemajuan yang selalu mendasar pada mutu (kualitas).